

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



VÝZKUM DLOUHODOBÝCH ZMĚN HODNOT VEGETAČNÍCH INDEXŮ

ANALYSIS OF LONG-TERM CHANGES OF VEGETATION INDICES

Bakalářská práce

Petra Beránková

květen 2010

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Vysoká škola: Univerzita Karlova v Praze

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Aplikované geoinformatiky a kartografie

Školní rok: 2009/2010

Zadání bakalářské práce

pro Petru Beránkovou

obor Geografie a kartografie

Název tématu: Výzkum dlouhodobých změn hodnot vegetačních indexů

Zásady pro vypracování

Hlavním cílem předkládané bakalářské práce je zhodnocení dlouhodobých změn hodnot vegetačních indexů v různých částech světa v souvislosti se změnami klimatu. Využita budou data o globálních hodnotách NDVI archívu NASA (NOAA a MODIS) a klimatické charakteristiky budou sledovány z dostupné celosvětové databáze meteorologických stanic. V další části budou spočítány změny hodnot NDVI pro území Česka na podkladě dat MERIS z přijímací stanice KAGIK.

Rešeršní část práce bude obsahovat detailní rozbor domácí i zahraniční literatury věnované se výpočtu a interpretaci hodnot vegetačních indexů. Hlavním tématem práce je prozkoumat souvislosti mezi změnami teploty v různých světových regionech (polární oblasti, regiony v mírném pásu, tropické oblasti) a změnami hodnot NDVI. Tyto souvislosti budou hodnoceny pomocí korelačních metod. Hlavním výstupem práce by mělo být zhodnocení, zda se hodnoty NDVI výrazně měnily v jednotlivých ročních obdobích sledovaných od r. 1982. Tyto hodnoty budou korelovány se změnami teplot, např. zdali růst teploty souvisí s časovým posunem vegetačních období.

Snímky pořízené senzorem MERIS poslouží pro výpočet a sledování změn hodnot vegetačních indexů pro území Česka. Za roky 2009 a 2010 budou data dostupná z archívu dat katedry KAGIK. O starší družicové snímky MERIS bude požádáno do archívu ESA.

Data budou zpracována v softwaru PCI Geomatica a BEAM.

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: cca 30 stran

Seznam odborné literatury:

GONZALES, R.C., WINTZ, P. (2002): Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, Advanced Book Program-World Science Division, Reading, Mass.

Kolář, J. (1989): Dálkový průzkum Země. SNTL, Praha.

Kolář, J., Halounová, L., Pavelka, K. (2000): Dálkový průzkum Země. Skripta, ČVUT v Praze, 2. vydání, 164 str.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. (1999): Remote Sensing and Image Interpretation, 4th Edition, Wiley, New York, 736 str.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 2.11.2009

Termín odevzdání bakalářské práce: červen 2010

Platnost tohoto zadání je po dobu jednoho akademického roku.



.....
Vedoucí bakalářské práce



.....
Vedoucí katedry

V Praze dne 2. 11. 2009

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

Jsem si vědoma toho, že případné použití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Mladé Boleslavi dne 18.5. 2010

.....
Petra Beránková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph.D. za inspiraci k zpracování tématu, věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Ráda bych také poděkovala všem pedagogům, kteří mě obohatili o mnoho cenných vědomostí a zkušeností. Dále pak spolužákům, kteří nikdy neodmítli žádost o pomoc, a v neposlední řadě děkuji rodině za podporu v průběhu celého studia.

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou výzkumu dlouhodobých změn hodnot vegetačních indexů konkrétně indexem NDVI (Normalizovaný diferenční vegetační index). První část je věnována detailnímu rozboru domácí i zahraniční literatury, která se zabývá výpočtem a interpretací hodnot vegetačních indexů. Hlavním tématem práce je prozkoumat vztah mezi změnami teplot a hodnot NDVI a srážek a hodnot NDVI v období 1982-2006. Tyto souvislosti jsou zkoumány pomocí korelační a regresní analýzy. Pozornost je soustředěna na oblast Česka, střední Evropy a Finska. Průměrná hodnota NDVI ve střední Evropě vzrostla v zkoumaném období o 0,0012 za rok. Průměrná hodnota NDVI v Česku vzrostla o 0,0014 za rok. Na území Česka vzrostla hodnota NDVI ve třech ročních obdobích (jaro, podzim a zima). V létě v některých oblastech poklesly hodnoty NDVI. Korelační koeficienty mezi NDVI a teplotou a NDVI a srážkami vyšly shodně nejvyšší na jaře.

Klíčová slova: NDVI, vegetační indexy, teplota, srážky, střední Evropa, Česko

ABSTRACT

The work deals with the issue of research of long-term changes of vegetation indices concretely indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). The first part is devoted to detailed analysis of domestic and foreign literature, which deals with the calculation and interpretation of vegetation indices values. The main theme of this work is to explore relation between temperature and NDVI changes and precipitation and NDVI changes over the period 1982-2006. These connections are examined using correlation and regression analysis. Attention is concentrated to the Czech Republic, Central Europe and Finland. The average value of NDVI in Central Europe increased over the study period of 0,0012 per year. The average value of NDVI in Czech Republic increased of 0,0014 per year. On the territory of the Czech Republic increased the value of NDVI in three seasons (spring, autumn and winter). In the summer, in some areas, decreased NDVI values. Correlation coefficients between NDVI and temperature and NDVI and precipitation appeared consistently the highest in the spring.

Keywords: NDVI, vegetation indices, temperature, precipitation, Central Europe, Czech Republic

OBSAH

Přehled použitých zkratk	6
1. Úvod	7
1.1 Hypotéza	8
1.2 Cíle bakalářské práce	8
1.3 Struktura bakalářské práce	8
2. Úvod do problematiky	9
2.1 NDVI	11
2.2 Vegetační indexy	13
2.3 Dosavadní poznatky – studie	14
3. Data a metodika	17
3.1 Datové sady.....	17
3.1.1 GIMMS.....	17
3.1.2 Globální klimatický zdroj (Global Climate Resource)	18
3.1.3 AVHRR Land Cover Clasification.....	20
3.1.4 Corine Land Cover.....	21
3.1.5 MERIS	21
3.2 Zkoumaná oblast.....	21
3.2.1 Střední Evropa.....	22
3.2.2 Česko	23
3.2.3 Finsko.....	23
3.3 Použité metody.....	24
3.3.1 Statistické analýzy	24
3.3.2 Použitý software	26
4. Výsledky	28
4.1 Trendy a meziroční rozdíly v hodnotách NDVI a T	28
4.1.1 Střední Evropa.....	28
4.1.2 Česko	31
4.2 Korelace mezi NDVI a klimatickými proměnnými	34
4.2.1 Česko	34
4.3 Trendy v sezónních NDVI.....	37
4.3.1 Česko	37
4.4 Vztah vegetačního pokryvu a ročního průběhu NDVI	39
4.4.1 Lesní krajina.....	40
4.4.2 Zemědělská krajina.....	43
4.4.3 Zemědělsko-lesní krajina.....	45
4.5 Šířková pásmovitost dokumentovaná pomocí NDVI	47
4.6 Výpočet hodnot NDVI z družicových snímků ENVISAT MERIS	50
5. Diskuze	52
6. Závěr	55
Použitá literatura	57
Seznam tabulkových a grafických příloh	61
Přílohy	63

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

AATSR	Advances slony track scanning radiometer
ASAR	Advanced synthetic aperture Radar
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CAI	Climatologically Aided Interpolation; klimatologicky podporovaná interpolace
DEM	Digital-elevation-model; digitální výškový model
DORIS	Doppler Orbitography and Ratio positioning integrated by satellite
GIMMS	Global Inventory Modeling and Mapping Studies
GOMOS	Global ozone monitoring by occultation of stars
IČ	Infračervené
LAI	Leaf Area Index; index listové pokryvnosti
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument
MIPAS	Michelson interferometer for passive atmospheric sounding
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MWR	Microwave Radiometer
NASA	National Aeronautics and Space Administration; Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index; normalizovaný diferenční vegetační index
NIR	Near infrared; blízká infračervená část spektra
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PVI	Perpendicular Vegetation Index
RA-2	Radar Altimeter
RED	Červená viditelná část spektra
RVI	Ratio Vegetation Index; jednoduchý poměrový vegetační index
S	Srážky
SCIAMACHY	Scanning Imagn Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography
SPOT-VGT	Satellite Pour l'Observation de la Terre – Vegetation
T	Teplota vzduchu
TM	Thematic Mapper
TVI	Transformed Vegetation Index; transformovaný vegetační index
VI	Vegetační index

1. ÚVOD

V současné době se vegetační indexy a jejich výpočet stávají stále více oblíbenými metodami pro zkoumání vegetace a jejích vztahů v různých oborech lidských činností. Je to především obor krajinné ekologie, lesnictví a zemědělství. Konkrétně je to především monitorování vegetace a rostlinné reakce na změny životního prostředí. Zde se vyskytují například studie zkoumající vztah vegetace a globálních změn klimatu. Další velkou oblastí aplikace je rozložení vegetační složky krajinného pokryvu a její změny v čase. Může to být například odlesňování, přírodní katastrofy jako větrné polomy nebo kůrovcové kalamity. Začínají se využívat i k monitorování povodní a objevují se i studie, zabývající se vztahem NDVI a určitého biologického druhu, mohou to být jak rostliny tak i živočichové vázaní na vegetační složku. Další oblastí je už zmíněné zemědělství, zde se vegetační indexy používají například k odhadu výnosu zemědělských plodin.

V posledních letech se stalo aktuálním i moderním pojmem globální oteplování. Avšak je zajímavé se na tento problém podívat z druhé strany. Nejenom přes teplotní ukazatele, ale pokud k oteplování dochází, musí se to projevit i jiných oblastech. A jednou z nejcitlivějších oblastí zemské sféry je biosféra, konkrétně pak vegetační složka. Nebude se s rostoucí teplotou zvyšovat i růst rostlin, tudíž zvyšovat vegetační index, a nebo po určité vyšší teplotě bude opět klesat? A jaký na to bude mít vliv srážek? Hlavně takovéto otázky mě vedly k výběru tohoto tématu. Téma je to široké, takže v této bakalářské práci bych se především zaměřila na oblast mě nejbližší Českou republiku a okolní státy. Konkrétně bych se zaměřila na výzkum dlouhodobých změn hodnot vegetačních indexů a to především v souvislosti se změnami klimatu.

1.1 Hypotéza

Pro posouzení dlouhodobých změn hodnot vegetačního indexu NDVI byla stanovena tato hypotéza: „*Během posledních desetiletí se hodnota NDVI na základě zvyšující se teploty v jednotlivých obdobích roku zvýšila, došlo k rozšíření a časovému posunu vegetačního období rostlin a změně průběhu jednotlivých fenofází*“. Tato hypotéza bude na základě korelačních metod mezi změnami teplot a změnami hodnot NDVI v jednotlivých vybraných zkoumaných světových oblastech v závěru práce potvrzena nebo zamítnuta.

1.2 Cíle bakalářské práce

1. Zhodnocení dlouhodobých změn hodnot vegetačních indexů v střední Evropě a v části Finska v souvislosti se změnami klimatu.
2. Spočítat změny hodnot NDVI pro území Česka na podkladě dat MERIS z přijímací stanice KAGIK.
3. Detailní rozbor domácí i zahraniční literatury zabírající se výpočtem a interpretací hodnot vegetačních indexů.
4. Vytvoření globální databáze teplot, srážek a hodnot NDVI v období 1982-2006.

1.3 Struktura bakalářské práce

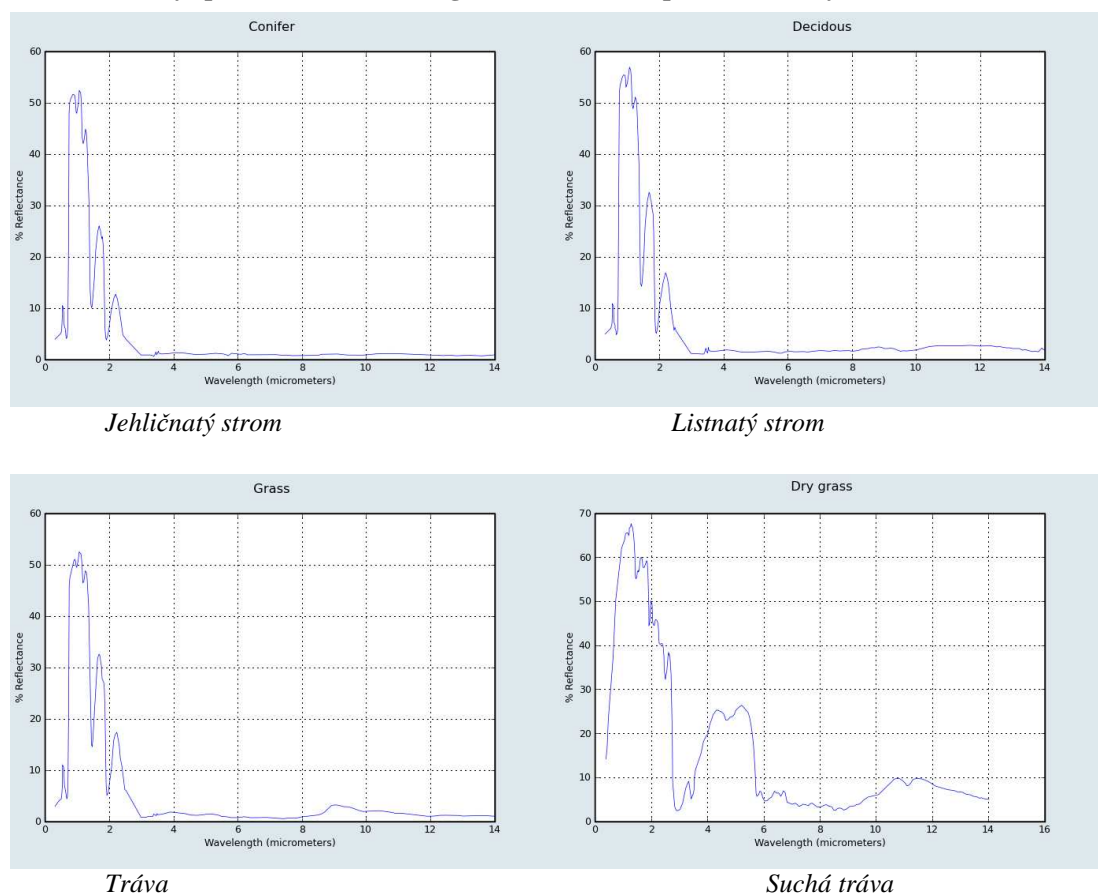
V první části práce je uveden rozbor domácí i zahraniční literatury zabírající se výpočtem a interpretací hodnot vegetačních indexů. Nastíním zde teorii podstaty spektrálních poměrových indexů především pak indexu NDVI. Zaměřím se také na shrnutí výsledků posledních studií na toto téma.

V metodické části jsou popsána používaná data a metody, které jsem k této práci používala. Budou následovat řešení a výsledky práce, které se pak pokusím zhodnotit v diskuzi, kde se je zkusím zkonfrontovat s ostatními studiemi na toto téma. V závěru pak bude následovat shrnutí výsledků a možnost pokračovat v této práci do budoucna například s výhledem na diplomovou práci.

2. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vegetace představuje důležitou část ve zkoumání dálkového průzkumu zemského povrchu. Kromě pouštních a polárních oblastí se vegetace prakticky vyskytuje ve všech částech planety Země. Pro rozlišení jednotlivých složek vegetace je nutné znát jejich spektrální projevy, charakteristiky a průběh křivek odrazivosti (KOLÁŘ, 1989). Křivky odrazivosti se nacházejí ve spektrálních knihovnách (pro jednotlivé družicové systémy). Např. ASTER Spectral Library dostupná na <http://speclib.jpl.nasa.gov>. Ukázky spektrálních křivek vegetace z ASTER Spectral Library můžete vidět na Obr. 1.

Obr. 1: Ukázky spektrálních křivek vegetace z ASTER Spectral Library

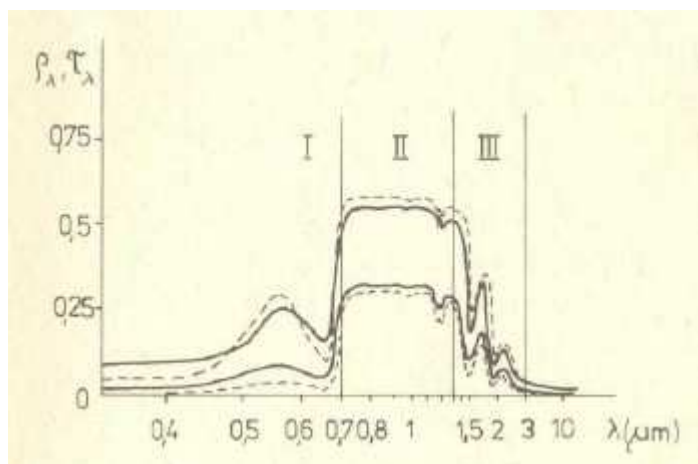


Zdroj: (ASTER Spectral Library : Version 2.0 , 2008) <http://speclib.jpl.nasa.gov>

Různé kategorie vegetace mají spektrální křivky odlišné, avšak jejich průběh je velice podobný. Obecný průběh vegetační spektrální křivky popíšu na spektrálních vlastnostech listu. Průběh křivky spektrální odrazivosti je zobrazen na Obr. 2. Můžeme jí rozdělit na tři hlavní oblasti, které odpovídají faktorům určující velikost spektrální odrazivosti. Podle KOLÁŘE, HALOUNOVÉ, PAVELKY (2000, s. 41-41) to jsou „oblast pigmentační absorpce v pásmu 0,4 μm až 0,7 μm , oblast vysoké odrazivosti neboli buněčné struktury mezi 0,7 μm až 1,3 μm a oblast vodní absorpce od 1,3 μm do 3,0 μm .“

V první oblasti spektrální křivky formuje její průběh především chlorofyl, který patří do skupiny pigmentačních látek. Může tvořit až 65% listového pigmentu. Silně absorbuje zářivou energii v pásech modré (0,45 μm) a červené (0,65 μm) části spektra (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000). V oblasti mezi těmito hodnotami pak dochází k větší odrazivosti je to v okolí vlnové délky 0,54 μm (zelená oblast), nachází se zde minimum pohltivosti (KOLÁŘ, 1989).

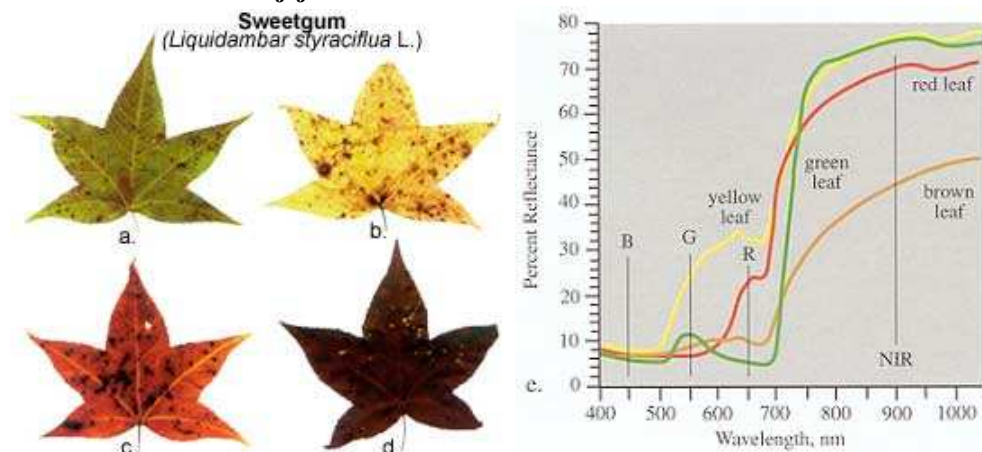
Obr. 2: Spektrální odrazivost vegetace v oblasti viditelného a IČ záření



Zdroj: (KOLÁŘ, 1989)

Další pigmentační látky jsou karoten a xanthofyl, které jsou žlutým pigmentem s absorpčním pásmem okolo 0,45 μm (modrá část spektra). Jelikož chlorofyl absorbuje záření také v modré části, nejsou na zdravém listu žluté pigmenty viditelné. Když však dochází k úbytku chlorofylu, stárnutí listu, stále více se projevují karoten a xanthofyl a tudíž dochází na podzim ke žloutnutí listů (viz Obr. 3). To samé platí o další pigmentační látce anthokyanu, který je červeným pigmentem, a u některých rostlin způsobuje po úbytku chlorofylu jejich zčervenání (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000). Na grafu měření odrazivosti jednotlivých listů (viz Obr. 3) je vidět, že odrazivost v pásmu blízkého infračerveného záření klesá se stárnutím listů.

Obr. 3: Stárnutí listu a jejich měření odrazivosti



Poznámka: a. zdravý zelený list ambroně, b-c. zestárlý žlutý a červený list získaný ze stejného stromu, d. starý list ambroně, který byl na zemi; e. měření odrazivosti ze čtyř listů

Zdroj: (JENSEN, 2000, Cit. In RangeView : Remote Sensing Applications for Range Management) <http://rangeview.arizona.edu/Tutorials/intro.asp>

V pásmu mezi 0,7 μm a 1,3 μm je nárůst odrazivosti pro vegetaci typický. Je to především díky morfologické struktuře listu. Stavební látkou je zde celuloza (index lomu=1,4). Buňky v této části spektra mají velmi nízkou pohltivost. To způsobuje, že uvnitř listu dojde k několikanásobnému odrazu (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000).

Třetí oblastí je pásmo vodní absorpce, které je formováno výraznými absorpčními pásy vody na vlnových délkách 1,4 μm , 1,9 μm a 2,7 μm . Hlavním vibračním absorpčním pásem vody pak označuje na vlnové délce 2,7 μm . Je z nich největší a je vlastně tvořen dvěma vibračními absorpčními pásy na vlnových délkách 2,66 μm a 2,73 μm (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000).

Ve větších vlnových délkách přibližně od 3 μm je pohltivost listů velmi vysoká, odrazivost se blíží hodnotám menším než 5 % (KOLÁŘ, 1989).

2.1 NDVI

Prudký vzrůst odrazivosti na hranici mezi viditelným zářením a blízkým IČ zářením je pro vegetaci typický, proto můžeme využít rozdílu odrazivosti v těchto dvou oblastech jako indexu vegetace, který lze nazvat indikátorem přítomnosti zelené hmoty. Rovnice vegetačního indexu (VI):

$$VI = R_{\text{bIČ}} - R_{\text{Č}}$$

$R_{\text{bIČ}}$ je odrazivost v blízké infračervené a $R_{\text{Č}}$ v červené části spektra. Nejčastěji se však používá Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000).

NDVI - Normalizovaný diferenční vegetační index je založen na stejném principu jako VI. Zdravá vegetace má nízkou odrazivost ve viditelné části elektromagnetického spektra (RED) v důsledku absorpce chlorofylu a ostatními pigmenty a vysokou odrazivost v blízkém infračervené části spektra (NIR) (LILLESAND AND KIEFER, 1994). NDVI je počítán pomocí jednoduché rovnice (LIANG, 2004):

$$NDVI = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{red}}}$$

Tento vzorec můžeme nalézt také v podobě (LILLESAND AND KIEFER, 1994),

$$NDVI = (Ch_2 - Ch_1) / (Ch_2 + Ch_1)$$

ve tvaru (MYNENI, 1995, Cit. In PETTORELLI [et al.], 2005).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

nebo (KOLÁŘ, HALOUNOVÁ, PAVELKA, 2000)

$$NDVI = (R_{bl\check{c}} - R_{\check{c}}) / (R_{bl\check{c}} + R_{\check{c}}).$$

Všechny tyto vzorce znamenají totéž a je u nich použité pouze jiné značení odrazivosti v blízké infračervené a v červené části spektra.

Hodnoty NDVI se nacházejí v rozmezí -1 a $+1$. Vzhledem k vysoké odrazivosti v blízké infračervené části spektra, má zdravá vegetace hodnoty NDVI mezi $0,05$ a 1 . Naopak nezelené povrchy jako jsou vodní útvary, mraky a sníh mají záporné hodnoty NDVI. Holá půda má hodnoty blížíící se 0 v důsledku vysoké odrazivosti v obou částech spektra jak ve viditelné tak v blízké infračervené (LILLESAND AND KIEFER, 1994).

NDVI je preferován jako jednoduchý index pro globální sledování vegetace, protože NDVI pomáhá kompenzovat měnící se světelné podmínky, povrch svahu a další vnější faktory. Hodnota NDVI vybraná pro každý pixel je největší hodnota v kterýkoliv den během určitého období. Použije se nejvyšší hodnota NDVI, která představuje maximální množství zelené vegetace v daném období. To eliminuje oblaka z kompozitu (s výjimkou oblastí, které jsou zatažené po celé období) (LILLESAND AND KIEFER, 1994).

K dispozici jsou rozdílné NDVI datové sady s různým prostorovým a časovým rozlišením a různým časovým pokrytím. V zásadě rozlišujeme:

- Dlouhodobou NDVI datovou sadu s rozlišením $8-16$ km. Pořízenou americkou meteorologickou družicí typu NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a radiometrem AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), který zaznamenává záření ve viditelné, blízké IČ a tepelné IČ části elektromagnetického spektra (KOLÁŘ, 2008a). Časová série se táhne od roku 1981 do současnosti (PETTORELLI ... [et al.], 2005).
- Maloměřítkový (rozlišení několik metrů) Landsat-Thematic Mapper (TM) datový soubor existující v letech 1984 – 2003 (PETTORELLI ... [et al.], 2005).
- Kvalitně lepší, ale v krátkodobém časovém horizontu série NDVI od senzoru MODIS-TERRA (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), je datový soubor s rozlišením $250-1000$ m sahající od roku 2000 do současnosti (PETTORELLI ... [et al.], 2005).
- Datová sada od francouzské družice SPOT-VGT (Satellite Pour l'Observation de la Terre - Vegetation) má rozlišení až od několik metrů a její rozsah je od roku 1998 do současnosti (PETTORELLI ... [et al.], 2005).

Tab. 1: Různé NDVI datové sady

Dat. sada	Družice	Přístroj	Časové rozpětí	Časové rozlišení	Chybějící data	Prostor. rozlišení	Webové stránky
PAL	NOAA	AVHRR	Červenec 1981 – září 2001	1 den, 10-ti denní, měsíční, sezónní	Září 1994- Leden 1995	8 km	http://daac.gsfc.nasa.gov/guides/GSFC/guide/avhrr_dataset.gd.html
GVI	NOAA	AVHRR	Květen 1982 - současnost	Týdenní, měsíční, sezónní	Září 1994- , Leden 1995	16 km	http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/gviug/index.htm
GIM MS	NOAA	AVHRR	Červenec 1981– současnost	14 denní index (10 denní pro Afriku)	Žádná	8 km	http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/gimms/htdocs/
MOD 13	TERRA (EOS AM)	MODIS	Únor 2000 - současnost	16 dní	Žádná	250 m – 1 km	http://modis.gsfc.nasa.gov/
	(TM)/ET M	Landsat	1984-2003	16 dní	Žádná	< 1– 30 m	http://landsat.usgs.gov/
	VGT	SPOT	Duben 1998- současnost	10 dní	Žádná	1 km	http://www.spotimage.fr

Zdroj: Upraveno podle PETTORELLI [et al.], 2005

2.2 Vegetační indexy

Vegetační neboli spektrální indexy se dělí na dvě skupiny. Jsou to poměrové a ortogonální indexy. V literatuře můžeme najít velké množství indexů. Já tady zmíním ty z obou skupin jenom pár na ukázkou.

Mezi **poměrové indexy** patří již zmíněné indexy Jednoduchý poměrový vegetační index (RVI) a Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI). NDVI koreluje s dalšími indexy vegetace např. s indexem listové pokrývnosti – LAI. Dalším indexem, který spadá do této kategorie, je TVI – Transformovaný vegetační index. Využívají vztahu poměru (jednoduchého nebo normalizovaného) odrazivosti povrchů ve viditelné a blízké infračervené části spektra. Vzorec zde uvedený je např. pro data LANDSAT (TM), kde TM-3 je odrazivost v červené viditelné části spektra a TM-4 odrazivost v blízké infračervené části spektra (DOBROVOLNÝ, 1998).

$$TVI = SQRT \left[\frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} + 0.5 \right]$$

Druhou skupinou vegetačních indexů jsou **ortogonální indexy**. Počítají se jako lineární kombinace původních pásem multispektrálního indexu. Do této skupiny patří např. PVI (perpendicular vegetation index), který částečně separuje odrazivost vegetace a půdy. Vypočítá se pomocí vzorce (DOBROVOLNÝ, 1998):

$$PVI = \sqrt{(RED_p - RED_v)^2 + (NIR_p - NIR_v)^2}$$

kde RED_p - odrazivost půdy v červené viditelné části spektra, RED_v - odrazivost vegetace v červené viditelné části spektra, NIR_p - odrazivost půdy v blízké infračervené části spektra, NIR_v - odrazivost vegetace v blízké infračervené části spektra.

2.3 Dosavadní poznatky – studie

Zhodnocení jak jsou změny životního prostředí ovlivněny rozložením a dynamikou vegetace se stává stále důležitější pro ekology s cílem umožnit lepší předpovědi účinků globální oteplování a snižování biodiverzity. Schopnosti předvídat ekologické řešení často brání naše poněkud omezené chápání trofických interakcí. Vskutku je těžké rozeznat přímé a nepřímé vlivy na životní prostředí klimatu kvůli omezeným informacím o vegetaci ve velkém časovém a prostorovém měřítku. V posledních letech se tato situace změnila a v současnosti se hojně NDVI využívá v ekologických studiích (PETTORELLI ... [et al.], 2005). Zde zhodnotím používání NDVI v posledních ekologických studiích.

V roce 2005 vyšel článek Použití družicově odvozeného NDVI na posouzení ekologické odpovědi na změny životního prostředí (Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change). PETTORELLI ... [et al.], 2005 tato studie se zabývá použitím NDVI v posledních ekologických studiích (do roku 2005) a nštín jeho možnou klíčovou rolí v budoucnosti ve výzkumu v oblasti změny životního prostředí v kontextu ekosystému.

V oblasti celé Evropy byly zkoumány změny v teplotách zemského povrchu a hodnot NDVI mezi lety 1982 a 1999. Výsledky této studie dokazují, že suché a semiaridní oblasti v jižní Evropě se staly ještě více vyprahlými. V této oblasti je pokles hodnot NDVI až o $-0,02$. Ve zbytku Evropy je pak vidět nárůst v podílu zalesněných oblastí. Nárůst hodnot NDVI po celé Evropě až do $0,1$. Průměry teplot zemského povrchu zůstaly stabilní nebo mírně poklesly (až o $-1,5$ K) po celém kontinentu kromě jižních oblastí, pro které je zde zvýšení až o $2,5$ K (JULIEN, SOBRINO, VERHOEF, 2006).

Další evropskou studií je zkoumání podobností mezi hodnotami NDVI a jejich vztah k fyziologické činnosti borovice lesní ve Finsku. Vysoká korelace byla zaznamenána i mezi hodnotami NDVI a denními teplotami vzduchu. Širokopásmové hodnoty NDVI a denní průměrné teploty vzduchu vykazují podobné roční vzory. NDVI roste, když teplota vzduchu přesahuje 0 °C, a mají tendenci ke zvýšení dokud teploty nepřekročí 10 °C (WANG ... [et al.], 2004).

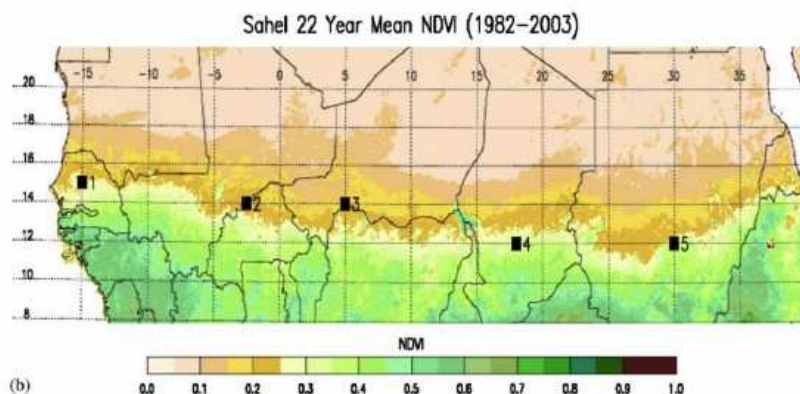
V oblasti Fennoskandinávie se zkoumala variabilita začátku vegetačního období v letech 1982 a 2002. Výsledky naznačují, že zvýšení teploty o 1 °C na jaře obecně odpovídá posunu začátku vegetačního období o 5-6 dnů. Nicméně existuje jasný trend v závislosti na stupni oceanity, pokud se zvýší teplota o 1 °C ve více oceánských částech, odpovídá tomu zhruba o 7-9 dnů dřívější začátek vegetačního období, ve srovnání s méně než 5 denním dřívějším začátkem vegetačního období v pevninské části (KARLSEN ... [et al.], 2007).

Další oblasti hojně zkoumanou pomocí NDVI je Čína. Zde jsou zkoumány změny hodnot NDVI na zvýšení růstu mírných travních porostů a jejich reakce na klimatické změny mezi roky 1982 a 1999. Průměrné NDVI z dané oblasti rostly o $0,5 \text{ \% yr}^{-1}$ pro vegetační období

(duben –říjen), $0,61 \text{ \% yr}^{-1}$ pro jaro (duben až květen), $0,49 \text{ \% yr}^{-1}$ pro léto (červen až srpen), a $0,6 \text{ \% yr}^{-1}$ pro podzim (září a října) v průběhu studia. Výsledky také naznačují, že NDVI trendy indukují změny klimatu měnící se mezi různými typy vegetace a obdobími (PIAO ... [et al.], 2006). Dalšími studiemi z oblasti Číny jsou pak hodnocení dynamiky vegetace ovlivněné změnou klimatu v jihozápadní krasové oblasti (WANG, MENG, CAI, 2008), odpověď vegetace Qinghai-Tibet plošině ke globálnímu oteplování (WEIXIN, XIAODONG, 2007) a časoprostorové změny vegetačního krytu na čínské plošině Loess (1981-2006): dopady klimatických změn a lidské činnosti (XIN, XU, ZHENG, 2008).

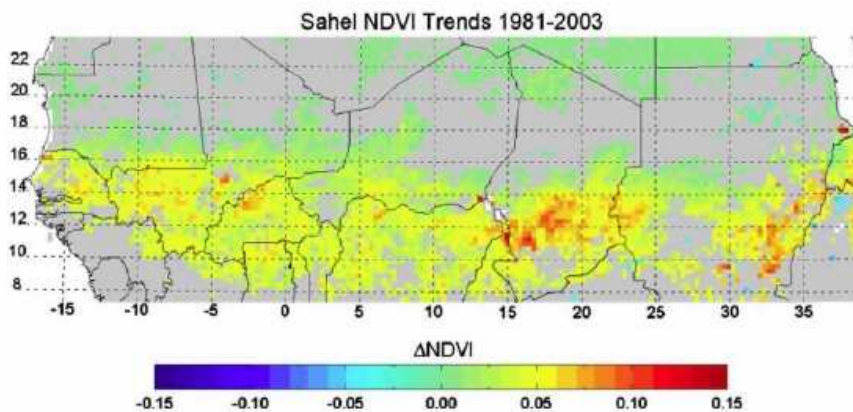
Další oblastí hojně zkoumanou je oblast Sahelu, která je postižená v současnosti desertifikací. Mezi novější patří analýza sahelské dynamiky vegetace pomocí dat NDVI NOAA-AVHRR z let 1981-2003. Na Obr. 4 můžeme vidět dlouhodobé průměry hodnot NDVI v Sahelu v letech 1982-2003. Ukazuje přechod z mokřých savan s hodnotami 0,5 až na suché savany s hodnotami 0,2 v blízkosti Sahary. Číslovaná území jsou místa, kde byly zkoumány časové změny a trendy v NDVI. Na Obr. 5 pak můžeme vidět výsledky změn hodnot NDVI na území Sahelu (ANYAMBA, TUCKER, 2005).

Obr. 4: Dlouhodobé průměry hodnot NDVI v Sahelu v letech 1982-2003



Zdroj: (ANYAMBA, TUCKER, 2005)

Obr. 5: Mapa shrnující trendy změn hodnot NDVI v Sahelu v letech 1982-2003

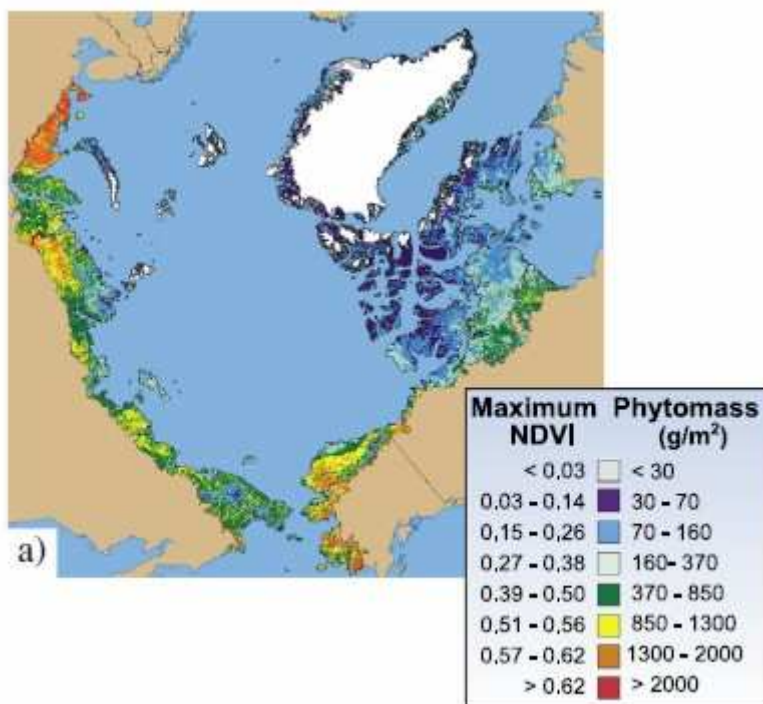


Poznámka: Žlutá až červená barva označují oblasti, kde došlo k významným změnám ve výši až 90% jistoty, a šedé plochy nevykazují žádný významný trend.

Zdroj: (ANYAMBA, TUCKER, 2005)

V Jižní Americe byla zkoumána oblast severovýchodu Brazílie, kde proběhl 20ti-letý výzkum variability hodnot NDVI (BARBOSA, HUETE, BAETHGEN, 2006). Další studie se zaměřují na oblast Arktidy. V oblasti středního Sibíře pak byl zkoumán vliv sezónních tlakových zákonitostí na dočasnou variabilitu vegetační činnosti. Obecně zde došly k závěru, že nejsilnější vztahy mezi variabilitou atmosférické cirkulace, klimatem a NDVI variabilitou byly nalezeny v oblastech, kde jsou klimatické charakteristiky více omezující pro rozvoj vegetace, například v severních oblastech. To může být vysvětleno tím, že v těchto oblastech určují proměnlivosti režimů atmosférické cirkulace letní teploty, které mají přímý vliv na vegetační činnost (VICENTE-SERRANO ... [et al.], 2006). V oblasti cirkumpolární Arktidy pak byly zkoumány zákonitosti NDVI a distribucí fytohmoty. Hlavní trend v analýze NDVI byl pokles od jihu k severu, korelující s bioklimatickou subzónou a vegetačními jednotkami. NDVI také klesl ve vyšších polohách a se substrátem s vyšším pH. Na Obr. 6 je vidět vztah mezi NDVI a fytohmotou (RAYNOLDS, WALKER, MAIER, 2006).

Obr. 6: Vztah mezi NDVI a fytohmotou v roce 2003 v cirkumpolární Arktidě



Zdroj: (RAYNOLDS, WALKER, MAIER, 2006); <http://www.arcticatlas.org/maps/themes/cp/cpndv>

3. DATA A METODIKA

Pro tuto analýzu byla využita data o globálních hodnotách NDVI archívu NASA (NOAA), data AVHRR Global Land Cover Classification, která zobrazují pokryv země na celé planetě. Klimatické charakteristiky byly sledovány z dostupné celosvětové databáze meteorologických stanic Global Climate Resource.

3.1 Datové sady

3.1.1 GIMMS

GIMMS (Global Inventory Modeling and Mapping Studies) je datový soubor hodnot NDVI, který je dostupný na webových stránkách archívu NASA <http://glcf.umd.edu/data/gimms/>. Údaje jsou k dispozici od července 1981 až do prosince 2006. Časové rozlišení hodnot NDVI je 15-denní. To znamená, že za měsíc máme dva údaje. První rastr je složen z maximálních hodnot v prvních 15 dnech v měsíci a druhý pak ze zbývajících dnů do konce měsíce. Maximální hodnotou je zde myšleno, že pixel nese nejvyšší spočítanou hodnotu NDVI během 15 dnů. Toto je především kvůli eliminaci oblačnosti (podrobněji viz kapitola 2.1 NDVI). Pro moji analýzu jsem využila data za druhou část měsíce. Prostorové pokrytí je globální pro všechny země kromě Grónska a Antarktidy. Údaje jsou k dispozici buď za jednotlivé kontinenty a to v prostorovém rozlišení 8×8 km (Albers Equal prostorové konické projekci, Clarkův elipsoid 1866), nebo za celou planetu, které jsou v geografickém souřadnicovém systému WGS84 s prostorovým rozlišením 0,07272727 ° (8×8 km). Já sem využívala tuto druhou možnost, především kvůli srovnání s daty land coveru, která jsou také v tomto systému. Data jsou 16-ti bitová a ve formátu GeoTIFF (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007).

V této datové sadě byla použita data ze sedmi AVHRR zařízení druhé generace družic NOAA (viz Tab. 2). AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) získává data v pěti spektrálních pásích, jeden pás ve viditelném a blízkém infračerveném a tři v tepelném (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007).

Tab. 2: Časové změny zařízení pro datovou sadu GIMMS

AVHRR nástroj	Počáteční datum	Datum ukončení
NOAA-7	1. červenec 1981	8. únor 1985
NOAA-9	11. únor 1985	7. listopad 1988
NOAA-11	11. listopad 1988	19. září 1994
NOAA-9	20. září 1994	18. leden 1995
NOAA-14	19. leden 1995	31. říjen 2000
NOAA-16	1. listopad 2000	31. prosinec 2003
NOAA-17	1. leden 2004	pokračování

Zdroj: Upraveno podle PINZON, BROWN, TUCKER, 2007

Tato datová sada je známa pro svoji vysokou kvalitu. NDVI v GIMMS datové sadě bylo korigováno v:

- senzorové degradační trvalé chyby a senzorových interkalibračních rozdílech
- zkreslení způsobeném přetrvávající oblačností v celosvětovém měřítku
- slunečním zenitním úhlu a sledování úhlových účinků způsobených satelitní odchylkou
- vulkanických aerosolech
- chybějících údajích na severní polokouli v zimě pomocí interpolace způsobené vysokými slunečními zenitními úhly
- nízkém signálu šumných poměrů způsobených mrakovým znečištěním a vodní párou.

K známým problémům s těmito daty patří pokles hodnot NDVI ve středu roku 1991, což je způsobeno erupcí Pinatuba a následným ochlazením. Ve vyšších severních šířkách (severněji od 65 ° s.š.) byly opraveny hodnoty kvůli extrémním slunečním zenitním úhlům během zimních měsíců. Data během druhé poloviny roku 1994 a během většiny roku 2000 měla buď neobvykle brzké nebo pozdní přechodné doby. Závěry z dat z těchto období by se měly vyvozovat se zvýšenou opatrností (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007).

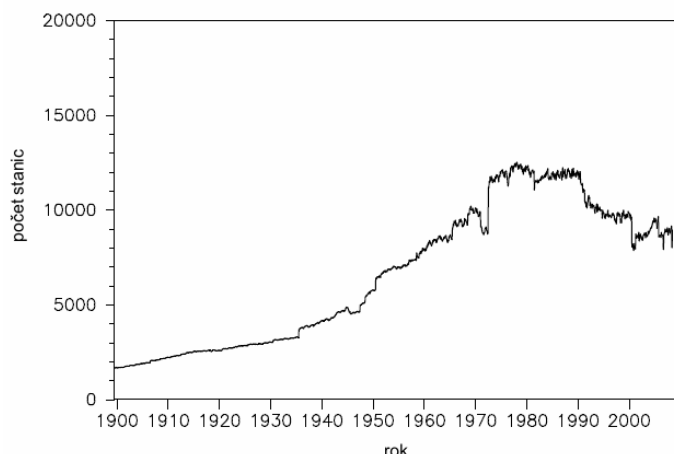
NDVI údaje jsou stále častěji využívány k hodnocení meziročních změn v biosféře např. sezónní analýza, meziroční analýza a analýza trendů. Na sezónní analýzu by data měla mít více než dostatečnou přesnost pro posouzení sezónnosti vegetace. Meziroční analýzy se dívají na data rok od roku a často se zde také zkoumají změny spojené se změnou klimatu. Analýzy trendů jsou obecně nejméně přesné. Chyby v NDVI datech jsou při těchto analýzách často příliš velké, než abychom mohli dokázat důležitost vyšších trendů (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007).

3.1.2 Globální klimatický zdroj (Global Climate Resource)

K získání klimatických charakteristik jsem využila Willmott, Matsuura and Collaborators' Global Climate Resource, který je dostupný na webových stránkách http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/download.html. Nachází se zde průměrné měsíční teploty, srážky, měsíční a roční průměry evapotranspirace a půdní vlhkosti. Konkrétně jsem využila soubor dat: 1) Pozemní teplota vzduchu: 1900-2008 Mřížkovaná měsíční časová řada (Terrestrial Air Temperature: 1900-2008 Gridded Monthly Time Series) a 2) Pozemní srážky: 1900-2008 Mřížkovaná měsíční časová řada (Terrestrial Precipitation: 1900-2008 Gridded Monthly Time Series). Tyto datové soubory byl sestaveny z několika aktualizovaných zdrojů: 1) Global Historical Climatology Network, 2) Atmospheric Environment Service/Environment Canada, 3) State Hydrometeorological Institute St. Petersburg Russia, 4) Greenland—from the GC-Net, 5) Automatic Weather Station Project, 6) Global Synoptic Climatology Network - Dataset 9290c a 7) Global Surface Summary of Day a u datového souboru srážek pak ještě 8) National Center for Atmospheric Research (NCAR) daily India data, 9) Sharon Nichol's archive of African precipitation data a 10) Webber and Willmott's South American monthly precipitation station records (MATSUURA, WILLMOTT, 2009b). Tyto staniční záznamy byly často sloučeny k vytvoření kompozitní měsíční staniční série. Staniční záznamy, které měly stejné zeměpisné souřadnice, byly prokládány nebo smíchány

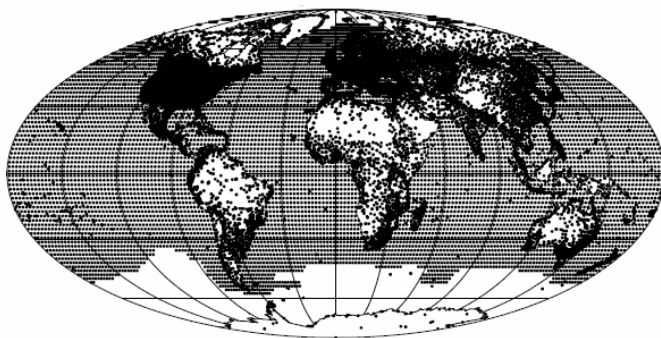
k vytvoření jedné staniční časové řady pro dané místo. Pokud na stejné lokalitě byly dvě nebo více pozorovací stanice pro daný měsíc, byl medián těchto hodnot brán jako T pro daný měsíc. Když tam byla jen jedna stanice pozorování po dobu jednoho měsíce, bylo to přijato jako T pro daný měsíc. Toto bylo provedeno, aby byla využita všechna dostupná data. Výsledný počet stanic dostupný v průběhu tohoto archivačního období se pohybuje od cca 1 600 do přibližně 12 200 (viz Obr. 7). Rozložení stanic na Zemi pak je vidět na Obr. 8 (MATSUURA, WILLMOTT, 2009a).

Obr. 7: Počet teplotních stanic vzduchu 1900 - 2008



Zdroj: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2_Ts_2009/air_temp_stat_num.pdf

Obr. 8: Rozmístění meteorologických stanic na Zemi



Zdroj: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2_Ts_2009/air_temp_clim_stat.pdf

Měsíční průměry teplot vzduchu (T) byly interpolovány do mřížky souřadnicové sítě $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ zeměpisné šířky a délky, kde jsou uzly souřadnicové sítě soustředěné na $0,25^\circ$. Souřadnicové pole bylo odhadnuto z měsíčních průměrů meteorologických stanic - použitím kombinací prostorových interpolačních metod - interpolace digitálního výškového modelu (DEM), tradiční interpolace a klimatologicky podporované interpolace (CAI). DEM interpolace byla použita především k odhadu průměrné měsíční T na místech bez stanic a to hlavně na uzlech sítě. Každá průměrná měsíční staniční teplota vzduchu byla nejprve snížena k hladině moře o průměrný environmentální teplotní gradient ($6^\circ\text{C}/\text{km}$). Tradiční interpolace pak byla

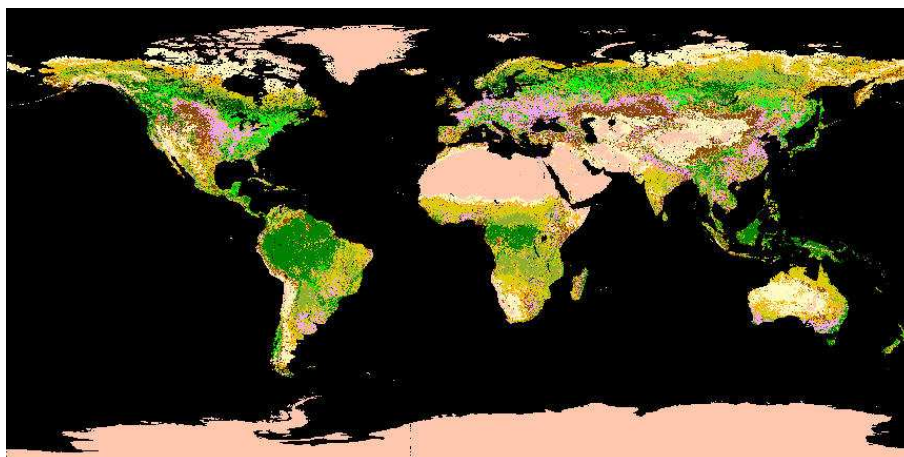
provedena na upravené mořské úrovni průměrných měsíčních staničních teplot vzduchu. Nakonec byly teploty vzduchu na úrovni moře vyneseny až na výšku mřížky a to opět průměrným enviromentálním gradientem (MATSUURA, WILLMOTT, 2009).

K dispozici jsou také prostorové interpolační chyby. Každá stanice byla postupně odstraněna a teplota byla interpolována z umístění okolních nedalekých stanic. Rozdíl mezi skutečnou hodnotou a staniční interpolovanou je pak lokální odhad chyby interpolace. Vzájemná kontrola platnosti byla provedena pro každou stanici za každý měsíc (MATSUURA, WILLMOTT, 2009).

3.1.3 AVHRR Global Land Cover Classification

Data AVHRR Global Land Cover Classification jsou dostupná na webových stránkách <http://glcf.umd.edu/data/landcover/index.shtml>. Univerzita v Marylandu katedra geografie vytvořila tuto globální klasifikační kolekci krajinného pokryvu Země v roce 1998. Snímky z AVHRR družic získané v letech 1981 a 1994 byly analyzovány k rozlišení čtrnácti tříd krajinného pokryvu. Mezi těmito čtrnácti třídami jsou: voda – Water, stále zelený jehličnatý les - Evergreen Needleleaf Forest, listnatý stále zelený les - Evergreen Broadleaf Forest, opadávající jehličnatý les - Deciduous Needleleaf Forest, opadávající listnatý les - Deciduous Broadleaf Forest, smíšený les - Mixed Forest, zalesněná krajina (lesík) - Woodland, zalesněné pastviny - Wooded Grassland, uzavřené křoviny - Closed Shrubland, otevřené křoviny - Open Shrubland, pastviny - Grassland, orná půda - Cropland, holá země - Bare Ground, městské a zastavěné plochy - Urban and Built. Prostorové rozlišení dat, které jsem využívala bylo 1 km a 8 km. Data jsou v souřadnicovém systému WGS84 (HANSEN ... [et al.], 2000). Příklad dat můžete vidět na Obr. 9.

Obr. 9: Data AVHRR Global Land Cover Classification – Svět



Zdroj: <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp?productID=6>

3.1.4 CORINE LAND COVER

Data CORINE land cover jsou za Česko dostupná na <http://geoportal.cenia.cz> a to za roky 1990, 2000 a 2006. Za Finsko jsou pak dostupná na <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database-1>, kde jsou dokonce i ve vektorové podobě. Oblast Finska je však dostupná pouze za rok 2000. Nemůžu se tak podívat v této oblasti na změnu krajinného pokryvu. Tyto údaje mám především k detailnějšímu zkoumání pixelu, ve kterém jsem NDVI hodnotila.

3.1.5 MERIS

MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument) je speciální spektrometr, který se nachází na družici Envisat. Měří sluneční záření, které se odrazí od Země. Pozemní rozlišení měření je 300 m a má 15 spektrálních pásem (KOLÁŘ, 2008a). Tyto spektrální pásma jsou ve viditelné a blízké infračervené části spektra (KOLÁŘ, 2008b). Během tří dnů je měření uskutečněno nad celou planetou. K původním posláním MERISu patří získání informací o mořské biologii, poznání uhlíkového cyklu, sledování teplotního režimu svrchních vod oceánu a na plány tras rybářských lodí (KOLÁŘ, 2008a).

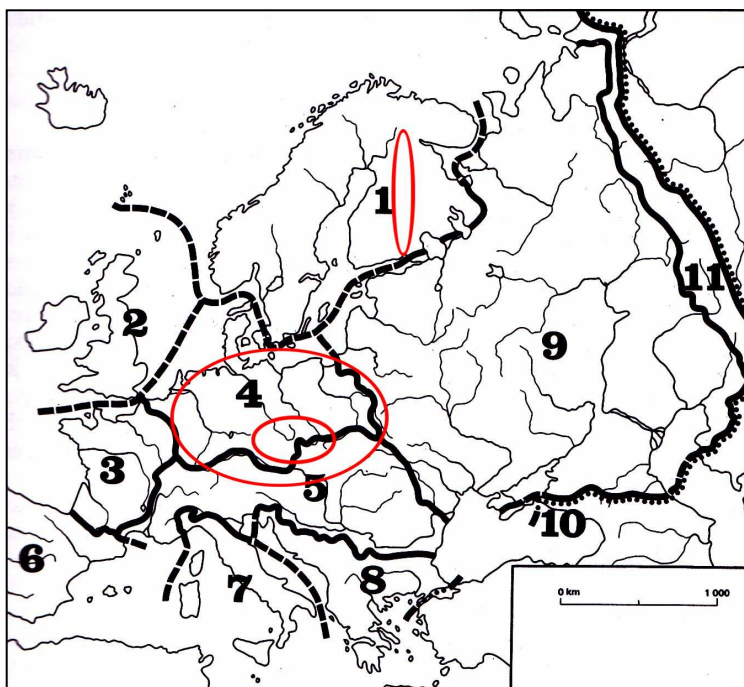
Družice Envisat je na oběžné dráze od 1.3. 2002. Má heliosynchronní dráhu ve výšce 800 km a sklon k rovině zemskému rovníku 98 °. Provoz Envisatu je řízen z řídicího letového střediska ESA v Německu konkrétně pak z Darmstadtu. Má na sobě celkem 10 přístrojů pro různé aplikace. Jsou to přístroje GOMOS, SCIAMACHY, MIPAS, MERIS, ASAR, AATSR, RA-2, MWR A DORIS (KOLÁŘ, 2008b).

Družicové snímky jsem získala v archivu MERISu, který spravuje GISAT. Archiv je napojený na operační SSE portál a je dostupný na webových stránkách <http://services.eoportal.org/index.jsp>. Konkrétně jsem využila službu SOSI MERIS User Service. Družicové snímky MERISu využiji k výpočtu hodnot NDVI v roce 2009.

3.2 Zkoumaná oblast

Oblastí, kde prozkoumám souvislosti mezi změnami hodnot NDVI a teplotou, jsem si zvolila střední Evropu a oblast Finska. Oblast Finska byla zvolena z důvodu odlišné zeměpisné šířky a odlišných klimatických podmínek. Podrobněji se pak hlavně zaměřím na Českou republiku (viz Obr. 10).

Obr. 10: Zkoumané oblasti a fyzickogeografické celky Evropy



Zdroj: Upraveno podle KRÁL, 1999

1-Skandinávská oblast, 2-oblast Britských ostrovů, 3-oblast atlantské Francie, 4-oblast Hercynské střední Evropy, 5-Alpsko-karpatská oblast, 6-Iberská oblast, 7-Apeninská oblast, 8-Balkánská oblast, 9-oblast Východoevropské roviny, 10-Krymsko-kavkazská oblast, 11-oblast Uralu

3.2.1 Střední Evropa

Pojem střední Evropy bývá v geografii chápán různě, já jsem použila politické hranice a zařadila jsem sem Českou republiku (té se budu věnovat podrobněji), Německo, Polsko, Slovensko a Rakousko. Zasahuje především do dvou fyzickogeografických celků Evropy. Do oblasti hercynské střední Evropy zasahuje především severní oblasti, naopak do Alpsko-karpatské oblasti spadá především Rakousko, Slovensko a část Česka. Východní část Polska pak patří už do oblasti Východoevropské roviny, avšak je tam jen malá část, takže té se tady věnovat nebudu (KRÁL, 1999).

Jak klima tak i rostlinstvo je zde ovlivněno přechodným rázem mezi oceánským a kontinentálním podnebím. Projevuje se zde západo-východní teplotní gradient, takže lednové průměrné teploty vzduchu jsou na Z okolo 4 °C a dále na V dosahují k -4 °C. Průměrné červencové teploty jsou mezi 17-20 °C. Z fytogeografického hlediska patří tato oblast ke středoevropské provincii eurosibiřské podoblasti Holoarktidy. Většina území je zde přeměněna na kulturní krajinu a původní smíšené lesy nahrazena jehličnatými monokulturami (KRÁL, 1999).

Tuto oblast jsem hodnotila jak dohromady, tak i za každý stát zvlášť. Oblast střední Evropy celkově zahrnuje 457 bodů (pixelů), ve kterých byla NDVI zkoumána. 106 bodů se z vrstvy land coveru klasifikovalo jako stále zelený jehličnatý les, 1 jako opadavý listnatý les, 18 jako smíšený les, 3 zalesněná krajina, 1 zalesněné pastviny, 2 uzavřené křoviny, 91 jako pastviny a 233 jako orná půda.

Rakousko obsahuje 39 zkoumaných pixelů. 25 pixelů je klasifikováno v land coveru jako stále zelený jehličnatý les, 3 jako smíšený les a 1 jako zalesněná krajina, 3 jako pastviny a 7 jako orná půda. Více jak polovina je zde tedy tvořena lesní krajinou.

V Německu jsem k hodnocení použila 187 pixelů. 31 pixelů je klasifikováno jako stále zelený jehličnatý les, 14 jako smíšený les, 2 jako uzavřené křoviny, 49 jako pastviny a 91 jako orná půda. Zde naopak zaujímá téměř polovinu orná půda.

Polsko obsahuje 163 zkoumaných pixelů. 28 pixelů je klasifikováno jako stále zelený jehličnatý les, 2 jako zalesněná krajina, 1 jako zalesněné pastviny, 28 jako pastviny a 104 jako orná půda. Zaujímá více než polovinu orná půda.

Slovensko obsahuje 26 zkoumaných pixelů. 10 pixelů je klasifikováno jako stále zelený jehličnatý les, 1 jako opadavý listnatý les, 1 jako smíšený les, 4 jako pastviny a 10 jako orná půda.

3.2.2 Česko

Česko zasahuje do dvou fyzickogeografických celků do oblasti hercynské střední Evropy a do Alpsko-karpatské oblasti, kam zasahuje území na východ od moravských sníženin (KRÁL, 1999). K analýze jsem rozdělila oblast Česka na tři oblasti nížiny (Polabí a Moravské úvaly) a hory (horské oblast, podhorské oblasti a Českomoravskou vrchovinu) a oblasti přechodné (nejdou vyloženě nížinami ani nepatří do horských oblastí). Nížiny jsou v oblastech nadmořské výšky menší než 300 m n. m. Horská oblast je územím nad 600 m n. m. Podhorské oblasti mají nadmořskou výšku 350-550 m n. m., ale nacházejí se v blízkosti vyšších hor převážně hraničních. Oblast Českomoravské vrchoviny je v nadmořské výšce 450-600 m n. m. a zasahuje do tohoto celku. Oblasti přechodné nepatří do žádného předchozího celku a nadmořskou výšku mají 300-550 m.

V Česku jsem hodnotila 40 pixelů. 12 pixelů je klasifikováno jako stále zelený jehličnatý les, 7 jako pastviny a 21 jako orná půda. Zde jsem využila i ortofoto snímky, k lepšímu určení krajinného pokryvu a data CORINE využití půdy.

3.2.3 Finsko

Oblast, na kterou jsem se zaměřila, je pás od severní hranice až po jižní pobřeží. Je to oblast od 69,75 ° s.š. až po 60,75 ° s.š. na poledník 27,75 ° v.d. Tato oblast patří do oblasti vlhkého boreálního podnebí. Průměrné lednové teploty se na severní hranici pohybují pod -15 °C a červencové okolo 10 °C. Na jihu Finska pak lednové kolem -5 °C a červencové okolo 15 °C. Zdejší vegetaci ovlivňují také dlouhé zimy a krátká chladná léta, i když na 60 ° s.š. v době letního slunovratu trvá den 18 h a 49 min, naopak o zimním slunovratu to je jen 5 h a 42 min. Kdežto na 70 ° s.š. už trvá den v době letního slunovratu průběžně 24 hod a během zimního slunovratu je průběžně noc. Soumrak a svítání trvá celkem 4 hod 20 min. Fytogeograficky patří do eurosibiřské podoblasti Holoarktidy. Je zde vysoká rozloha lesů v celém Finsku je to 65 %. Severní část území se nachází v subarktickém pásmu, kde se nachází pozvolný přechod tundry v tajgu bez ostrých hranic. Jsou zde charakteristické porosty břízy. Dále na jih se dostaneme na území přechodu mezi boreálními jehličnatými lesy

a severoevropskými smíšenými lesy. Velkou plochu zde zaujímají také močály s rašeliništi a mechorosty (KRÁL, 1999).

V oblasti Finska jsem hodnotila 19 pixelů. 9 pixelů je klasifikováno jako stále zelený jehličnatý les a nacházejí se především v jižnější oblasti, 7 jako zalesněná krajina v severní oblasti a 10 jako pastviny.

3.3 Použité metody

K zpracování bakalářské práce jsem využívala různé metody. Nejčastěji jsem využívala statistické analýzy, funkce programu ArcGIS a k výpočtu NDVI program BEAM.

3.3.1 Statistické analýzy

Ke zkoumání vztahů mezi více proměnnými se zabývá statistická analýza. V statistické analýze nám jde nejčastěji o změny proměnné v čase, vztahy mezi proměnnými nebo srovnání několika rozdělení. K řešení závislostí využiji dvě základní metody analýzy. Těmi jsou korelační a regresní analýza (HENDL, 2006).

Korelační analýza

Korelační analýza zkoumá sílu závislosti dvou spojitých veličin. Pojmem korelace tedy můžeme rozumět sílu vzájemné závislosti (ZVÁRA, 2006). Označuje míru stupně asociace dvou proměnných. Můžeme tedy říci, že dvě proměnné jsou korelované, pak určité hodnoty jedné proměnné mají tendenci se vyskytovat společně s určitými hodnotami druhé proměnné. K měření korelace existuje mnoho koeficientů, které se liší podle typu proměnných (HENDL, 2006). V této práci jsem pro výpočet korelace využila Pearsonův korelační koeficient.

Pearsonův korelační koeficient je nejdůležitější míra síly vztahu dvou náhodných spojitých proměnných X a Y. Nabývá hodnot od -1 až k 1. Hodnota 1 znamená největší míru závislosti a všechny prvky leží na přímce, naopak při hodnotě 0 nazýváme proměnné nekorelované. Kladné hodnoty znamenají pozitivní závislost a záporné negativní. Vyjadřuje pouze sílu lineárního vztahu. Obtížně měří jiné vztahy, i pokud jsou jakkoli silné. Je velmi ovlivněn odlehlými hodnotami, to samé se dá říci i o směrodatné odchylce a průměru. Koeficient r se počítá pomocí tzv. kovariance s_{xy} a směrodatných odchylek s_x a s_y obou proměnných. Počítá se pomocí vzorce (HENDL, 2006):

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$
$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}$$

Regresní analýza

Regresní analýza se zabývá především závislostí spojitě veličiny na jedné či několika, především spojitých veličinách (ZVÁRA, 2006). Zde jde především o to přesněji popsat tvar vztahu mezi proměnnými X, Y a vhodnost pro předvídání hodnot závisle proměnné pomocí hodnot nezávisle proměnné. Obecně se analyzuje vztah mezi cílovou (závislou) proměnnou a několika dalšími ovlivňujícími (nezávislými). Vztah mezi nimi představuje matematická rovnice, která svazuje proměnné a pravděpodobnostní předpoklady. Tuto matematickou rovnici nazýváme regresní funkcí. Pokud je tato funkce lineární v parametrech, jedná se o lineárně regresní model (HENDL, 2006).

Regresní přímku prokládáme grafem pokud jde o lineárně regresní model, je zde lineární vztah mezi proměnnými. Regresní přímka je přímka, jež má k experimentálním bodům co možná nejblíže. Přímku se snažíme určit tak, aby co nejlépe předvídala y -hodnoty pomocí x -hodnot. Rovnice přímky je (HENDL, 2006):

$$y = a + bx,$$

a parametry a, b se vypočtou pomocí vztahů

$$b = r \frac{s_y}{s_x}, \quad a = \bar{y} - b\bar{x},$$

kde r je korelace proměnných a s_x a s_y jsou směrodatné odchylky naměřených hodnot X a Y . Hodnoty parametrů přímky získáme pomocí metody nejmenších čtverců, aby byl minimální součet druhých mocnin reziduálních hodnot (HENDL, 2006).

Koeficient determinace R^2 porovnává variabilitu náhodné veličiny Y , která je popsána součtem čtverců odchylek od průměru s reziduálním součtem čtverců S_e , který popisuje variabilitu. Může se udávat v procentech. Udává relativní velikost variability závislé proměnné, kterou se uvažovanou závislostí podařilo vysvětlit (ZVÁRA, 2006). Vypočteme ho pomocí vzorce (ZVÁRA, 2006):

$$R^2 = 1 - \frac{S_e}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}.$$

$$S_e = \sum_{i=1}^n U_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - (b_0 + b_1 x_i))^2$$

K zobrazení průběhu hodnot NDVI během roku pak byla využita polynommická závislost druhého stupně. Jinak řečeno je to **kvadratická regrese**. Kvadratická závislost je speciální případ závislosti, kde je nezávisle proměnná v dána vztahem $v = x^2$ (ZVÁRA, 2006).

Další statistické ukazatele, které jsem využila v kapitole 4.3, jsou průměrné roční zvýšení sezónních hodnot NDVI, průměrná míra nárůstu sezónních NDVI (%) a koeficient korelace mezi NDVI a teplotou. Průměrné roční zvýšení sezónních hodnot NDVI je koeficient,

který ukazuje, jak se ve zkoumaném období mezi lety 1982-2006 změnily hodnoty NDVI. Kladné hodnoty ukazují narůstající trend a záporné trend poklesu. Průměrná míra nárůstu sezónních NDVI je udávána v %. Je to průměr hodnot, kdy jednotlivé hodnoty udávají, o kolik procent se zvětšila či zmenšila hodnota NDVI následujícího roku. Posledními ukazateli jsou Pearsonovy korelační koeficienty mezi NDVI a T a NDVI a srážkami.

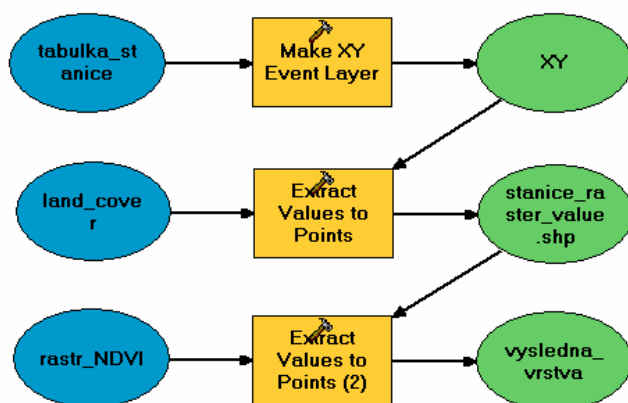
3.3.2 Použitý software

K zpracování této bakalářky jsem využila následující programy:

- *ArcGIS 9.3 – ArcMap – ArcCatalog* - Vytvoření databáze teplot a NDVI a k vytvoření výstupů
- *BEAM 4.7* – Zpracování družicových snímků a výpočet NDVI
- *Eolisa 7.0.3* – Vyhledávání vhodných bezoblačných družicových snímků
- *Microsoft Office 2002 – Microsoft Excel – Microsoft Word*- Textové práce a zpracování dat (tabulky, grafy)
- *WinZip 14.0*
- *Poznámkový blok*

K základní analýze této práce jsem si nejprve potřebovala vytvořit databázi stanic a následně přiřazení hodnot NDVI, teplot a srážek k těmto stanicím. Tyto úkony jsem prováděla v programu **ArcGIS** konkrétně pak v ArcMapu 9.3. Pomocí funkce *Make XY Event Layer* (*ArcToolbox – Data Management Tools – Layers and Table Views*) a *Feature to Point* jsem vytvořila bodovou vrstvu stanic. Teploty a srážky jsem přiřadila pomocí funkce *Join* z předem vytvořené tabulky v programu Microsoft Excel. Hodnoty NDVI a land coveru jsem přiřadila k bodové vrstvě pomocí funkce *Extract Values to Points* (*Spatial Analyst Tools – Extraction*). Následně jsem musela vytvořit nový sloupec atributové tabulky (*Add Field*) a pomocí *Field Calculator* jsem hodnoty přenesla do nového sloupce. Původní sloupec jsem pomocí *Delete Field* odstranila, abych mohla provést další extrakci hodnot z rastru. Všechny vrstvy jsem vytvořila v souřadném systému GCS_WGS_1984, který jsem používala ve všech operacích. Zjednodušené metodické schéma je na Obr. 11, celé schéma postupu je pak v Příloze G. Z rastrových dat mezi roky 1982 až 2006 jsem vyfiltrovala hodnoty NDVI pro každý měsíc v každém příslušném bodě. Vznikl mi tak shapefile stanic s atributovou tabulkou hodnot NDVI, teplot a srážek za každý měsíc v období let 1982 a 2006.

Obr. 11: Zjednodušené metodické schéma postupu v ArcGIS



Zdroj: ArcMap

K výpočtu NDVI a úpravě družicových snímků jsem využívala program **BEAM 4.7**. Nejprve jsem využila funkci *Smile Correction Processor*, která umožňuje vypočítat opravu hodnot radiance z produktů ENVISAT MERIS L1b. Dále jsem využila k oříznutí pouze oblasti Česka funkci *Create Subret from View*. Pro geometrické korekce jsem využila funkci *Ortorectification*, která provedla ortorektifikaci snímků. Jako podkladový digitální výškový model jsem využila GETASSE30 a zvolený souřadnicový systém byl WGS84. Nakonec jsem využila *NDVI Processor (MERIS)*. Tento procesor počítá NDVI z pásem 6 a 10 dle tohoto vzorečku:

$$NDVI = (IR_factor * near_IR - red_factor * red) / (IR_factor * near_IR + red_factor * red)$$

$$IR_factor = 1; red_factor = 1$$

Hodnoty NDVI v příslušných zkoumaných bodech jsem zjistila pomocí funkce *Manager pins of a data product*. Výslednou tabulku jsem si pak převedla do txt formátu.

4. VÝSLEDKY

4.1 Trendy a meziroční rozdíly v hodnotách NDVI a teplot (T)

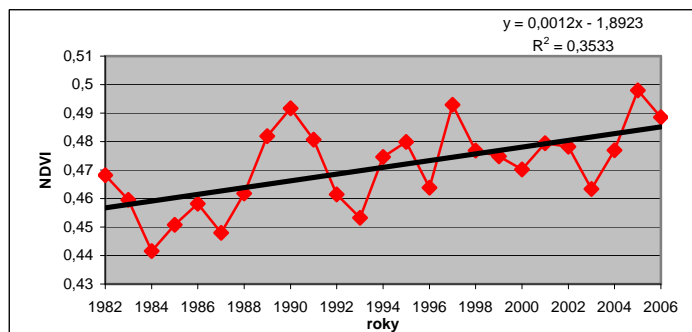
V této části se zaměřím na výsledky, hodnotící změny hodnot NDVI, teplot (T) u Česka i srážek mezi jednotlivými roky v období 1982 až 2006. Výsledky jsou ve formě grafu proloženém regresní přímkou a s koeficientem determinace. Zaměřím se na to, jaký je zde trend hodnot a jestli spolu souvisí jednotlivé průběhy grafů hodnotící NDVI a T a NDVI a srážky. Tyto trendy budu hodnotit v oblasti střední Evropy, což znamená Česko a sousední státy a souhrnně pro tuto celou oblast.

4.1.1 Střední Evropa

Na Grafu 1 můžeme vidět změny v průměrných hodnotách NDVI v celé oblasti střední Evropy v období 1982-2006. K výpočtu výsledků bylo použito 457 lokalit, typy krajiny použitých lokalit jsou popsány v kapitole 3.2.1. Více jak polovinu lokalit však tvořila orná půda následovaná jehličnatým lesem. Je zde vidět na regresní přímce narůstající trend hodnot NDVI. Průměrné hodnoty NDVI vzrostly z hodnoty těsně pod 0,47 z roku 1982 na 0,49 v roce 2006. Průměrný roční nárůst hodnot je o 0,0012. Graf 2 pak ukazuje vývoj v průměrných teplotách vzduchu ve střední Evropě v období 1982-2006. I zde je vidět vzrůstající tendenci hodnot, variabilita souboru je však mnohem větší a jsou zde tudíž vidět i větší rozdíly mezi teplotami jednotlivých hodnot. Průměrný roční vzrůst teploty je o 0,025 °C. V roce 1982 měla průměrná roční T hodnotu přibližně 8 °C a v roce 2006 pak přibližně 8,3 °C.

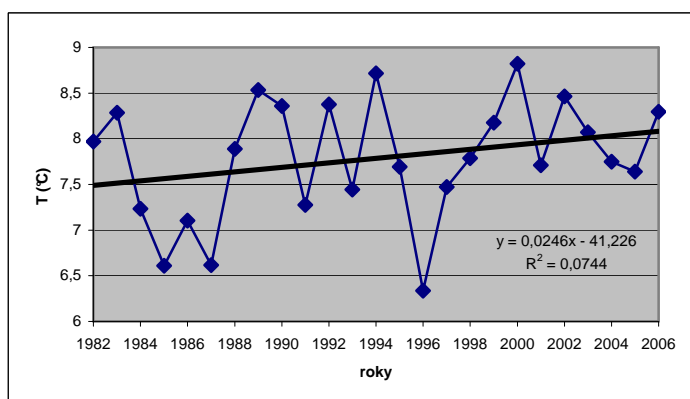
NDVI mělo nejvyšší hodnoty v letech 1990, 1995, 1997, 2001, 2005 a 2006. Teploty byly nejvyšší v letech 1989, 1990, 1992, 1994, 2000 a 2002. Zajímavé je u tří roků, kde byla vysoká teplota, byl následující rok mezi šesti lety s nejvyššími hodnotami NDVI. V roce 1990 se pak shoduje vysoké NDVI i vysoká teplota vzduchu. V letech 1986 a potom 1989 a 1990 se shodují oba grafy ve zvýšení hodnot jak T tak i NDVI. Pokles pak byl zaznamenán u obou hodnot v letech 1987, 1993 a 1996. Naopak v letech 1992, 2000, 2001 a od roku 2003 do 2006 není na průběhu obou veličin vidět nějakou závislost.

Graf 1: Průměrné hodnoty NDVI ve střední Evropě v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Graf 2: Průměrné teploty vzduchu ve střední Evropě v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

V **Německu** (viz Příloha A) je také narůstající trend hodnot jak u NDVI tak i u T. NDVI se zdvihlo z průměrné roční hodnoty přibližně 0,51 v roce 1982 na hodnotu 0,52 v roce 2006. Průměrný roční nárůst je pak stejný jako u celé střední Evropy tudíž 0,0012. U teplot je pak nárůst z 8,8 °C v roce 1982 na přibližně 9 °C v roce 2006. Průměrný roční vzrůst teplot je 0,033 °C.

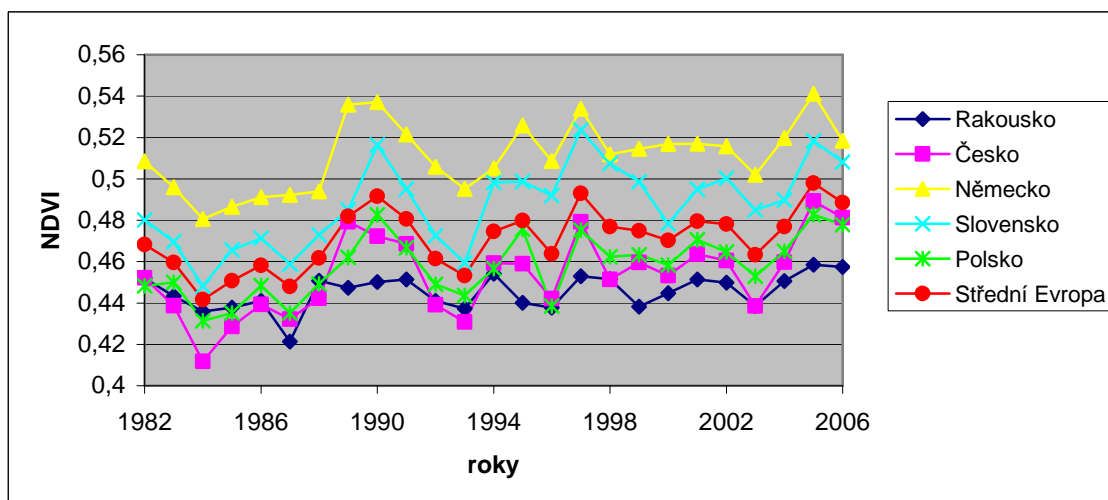
V **Polsku** (viz Příloha B) rostly průměrné roční hodnoty NDVI z 0,45 v roce 1982 na těsně pod 0,48 v roce 2006. Průměrný roční nárůst je tedy 0,0012 stejný jako ve střední Evropě i Německu. Teploty vzrostly z roku 1982 8,2 °C na 8,7 °C v roce 2006. Roční průměrný nárůst teplot tak činí 0,0291 °C.

Na rozdíl od střední Evropy a jejích jednotlivých států mělo nejvyšší vzrůst hodnot NDVI **Slovensko** (viz Příloha C). Průměrný roční vzrůst je 0,0017. Průměrná hodnota NDVI vzrostla z roku 1982, kdy byla 0,48, na 0,51 v roce 2006. Naopak vzrůst teplot byl nejmenší za celou střední Evropu, roční průměr vzrůstu je 0,0156. Teploty se zdvihly z roku 1982 7,9 °C na 2006 8,2 °C. Ta skutečnost, že se zvýšily nejméně teploty vzduchu, ale nejvíce hodnoty NDVI, by naznačovala ne příliš velkou závislost. Na detailnější komentář této skutečnosti se ale zaměříme až v další kapitole.

V **Rakousku** (viz Příloha D) se průměrný roční vzrůst hodnot NDVI pohybuje na úrovni 0,0005, což je jasně nejméně ze všech zkoumaných oblastí. Hodnota NDVI byla v roce 1982 0,452 a zvýšila se jen minimálně a roce 2006 jen na 0,457. Teplota také vykazuje trend nárůstu a to průměrně o 0,0218 °C za rok. Průměrná teplota na začátku zkoumaného období činila přibližně 7,1 °C a na konci 7,5 °C.

Na **Česko** se podrobněji zaměřím v následující podkapitole.

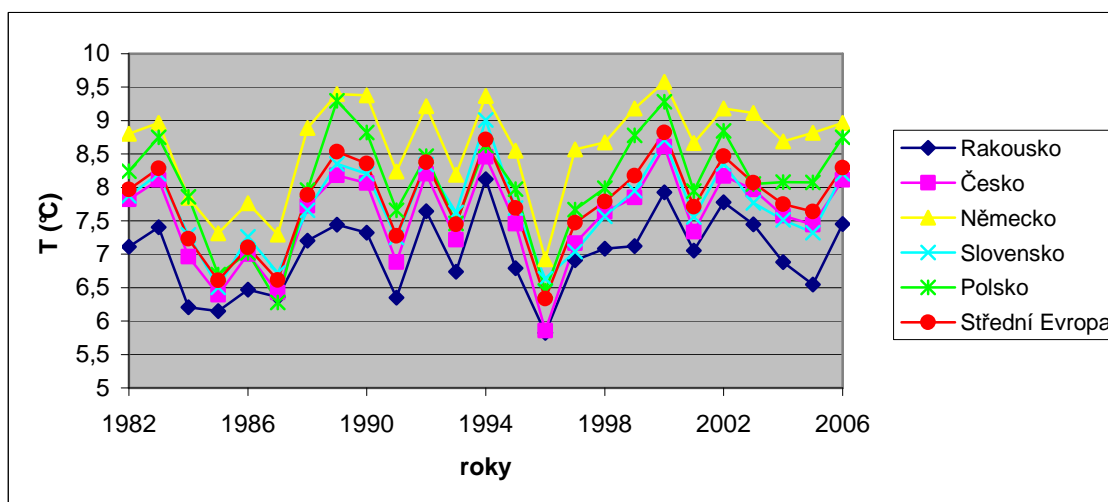
Graf 3: Průměrné hodnoty NDVI ve státech střední Evropy v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Na Grafu 3 je srovnání hodnot NDVI za jednotlivé státy. Výrazně nejvyšší hodnoty NDVI má Německo následované Slovenskem. Oblast pod průměrem střední Evropy zaujímá Česko s Polskem. Nejmenší hodnoty NDVI má Rakousko, což může být zapříčiněno kratším vegetačním obdobím ve vyšších nadmořských výškách. Německo má i nejvyšší průměrné teploty vzduchu (viz Graf 4). Je následované Polskem. Těsně pod průměrem střední Evropy je pak Česko a Slovensko. Nejnižších teplot pak dosahuje Rakousko, což je zapříčiněno především vyššími nadmořskými výškami v oblasti Alp. Nižší teploty na Slovensku mohou být zapříčiněny Karpatami. Naopak Polsko a Německo má rozsáhlé nížinné oblasti na severu. Při srovnání obou grafů je vidět, že Německo s nejvyšší teplotou má i největší NDVI. To samé platí i o Rakousku, má nejnižší teploty a nejnižší hodnoty NDVI.

Graf 4: Průměrné teploty vzduchu ve státech střední Evropy v období 1982-2006

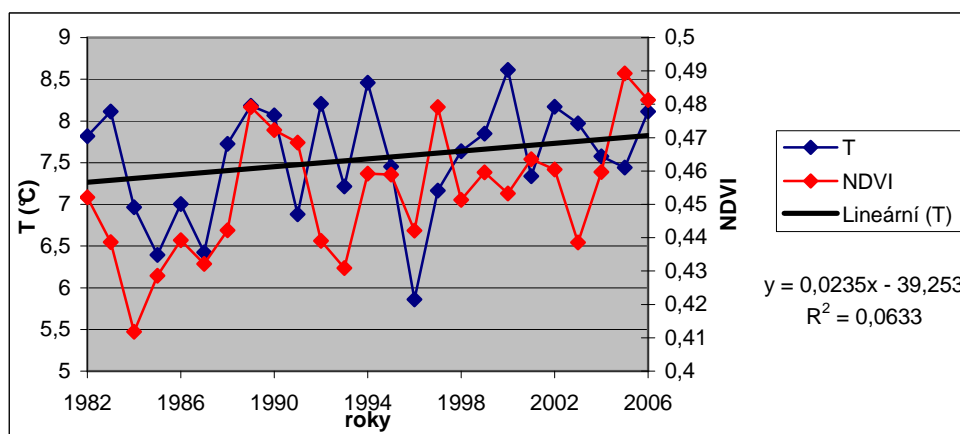


Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

4.1.2 Česko

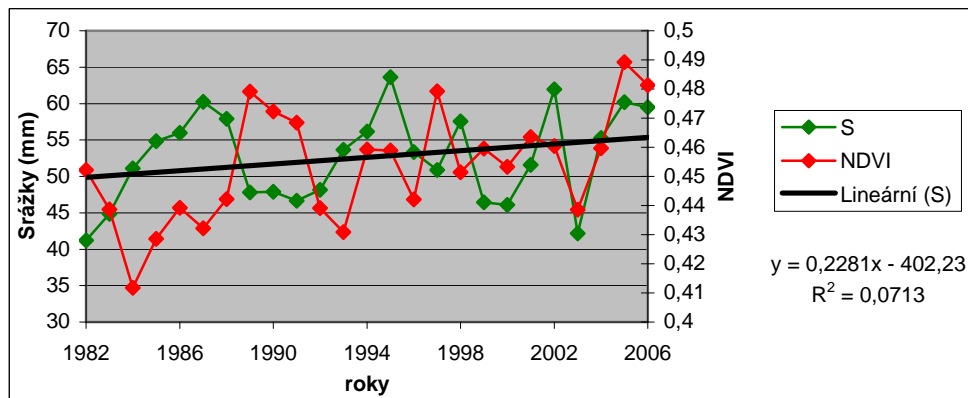
Jako u všech předchozích zmíněných států střední Evropy je i u Česka vzrůstající trend jak u hodnot NDVI, u teplot vzduchu (viz Graf 5) tak i u srážek (viz Graf 6). Průměrná hodnota NDVI v roce 1982 byla těsně nad 0,45 a stoupla na hodnotu 0,48 v roce 2006. Tedy průměrný roční vzrůst činil 0,0014, což je za Slovenskem druhá nejvyšší hodnota ze střední Evropy. Průměrná teplota vzduchu stoupla z roku 1982, kdy byla 7,8 °C, na hodnotu 8,1 °C. Na Grafech 5 a 6 je vidět srovnání průběhu průměrných hodnot NDVI s teplotami a srážkami. Nejvyšší hodnoty NDVI v Česku byly dosaženy v letech 1989, 1997 a 2005. Nejvyšší průměrné teploty vzduchu pak byly 1992, 1994 a 2000. Nejvyšší průměrné srážky byly 1987, 1995 a 2002. V první polovině zkoumaného období se průběh hodnot NDVI a teplot téměř shoduje, ke konci období se pak už docela výrazně začíná rozcházet. Průběh hodnot NDVI a srážek se rozchází mnohem více, podobnost je spíše vidět na konci zkoumaného období kolem roku 2000. Srovnání pomocí korelačního koeficientu se budu věnovat v kapitole 4.2.1.

Graf 5: Průměrné teploty vzduchu v Česku v období 1982-2006 a srovnání s NDVI



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Graf 6: Průměrné srážky v Česku v období 1982-2006 a srovnání s NDVI



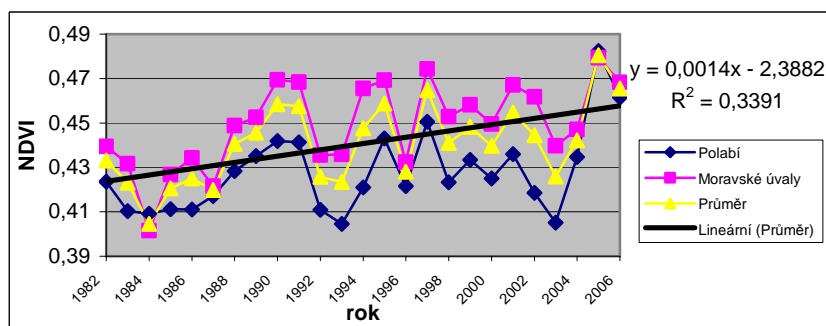
Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Nelze říci, že ve všech případech platí, že chladnější rok se rovná roku s nižší hodnotou NDVI, ale jak ukazuje Graf 6 tak v mnohých letech toto tvrzení platilo.

Na oblast Česka se podívám podrobněji, a to především k lepšímu pochopení trendů a průběhu NDVI. Česko jsem si rozdělila na tři oblasti, které jsem vyhodnotila samostatně. Podrobné vymezení oblastí naleznete v kapitole 3.2.2.

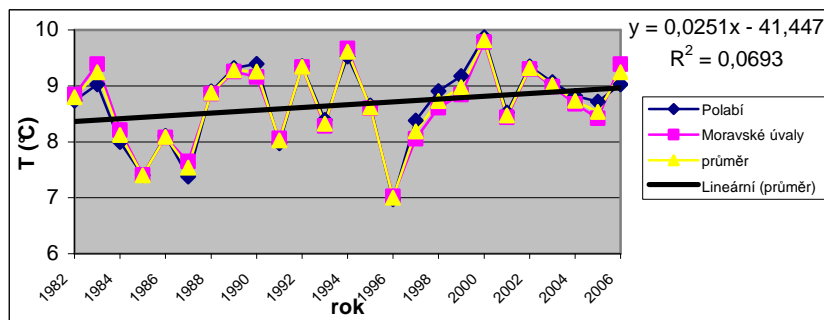
První oblastí je **oblast nížin**, která zahrnuje Polabí a Moravské úvaly. Krajinný pokryv v těchto oblastech je převážně zemědělského charakteru. To znamená především pole s ornou půdou, občas louky a pastviny, městská zástavba a občas i enklávy lesa. Jak je vidět na Grafu 8 tak teploty vzduchu jsou jak v Polabí tak v Moravských úvalech téměř vyrovnané. Je zde průměrný roční vzestup hodnot o 0,0251 °C, což je o něco více než průměr za celé Česko. Průměrný roční vzestup hodnot NDVI (viz Graf 7) je 0,0014, což je naopak stejná hodnota jako u celé oblasti Česka. Moravské úvaly mají hodnoty NDVI výrazně vyšší. V některých letech to je skoro až 0,03. V letech 1984, 1987, 2005 a 2006 mají naopak téměř identické hodnoty. Vysoké rozdíly hodnot mohou mít více příčin. Jednou z nich může být výrazně více zalesněných oblastech ve zkoumaných oblastech Moravských úvalů. Po shlédnutí ortofotosnímků daných oblastí tuto možnost spíše vylučuji. Pravděpodobnější příčinou může být, že teplejší oblast jižní Moravy bude přispívat k vyšším hodnotám NDVI. Na grafu teplot vzduchu se však toto nepotvrzuje, musím ovšem připomenout, že hodnoty teplot jsou interpolované, což může hodnoty teplot v těchto oblastech ovlivnit. Průměrný roční vzestup hodnot NDVI v Polabí je 0,0012 a v Moravských úvalech 0,0015.

Graf 7: Průměrné hodnoty NDVI v nížinné oblasti Česka v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

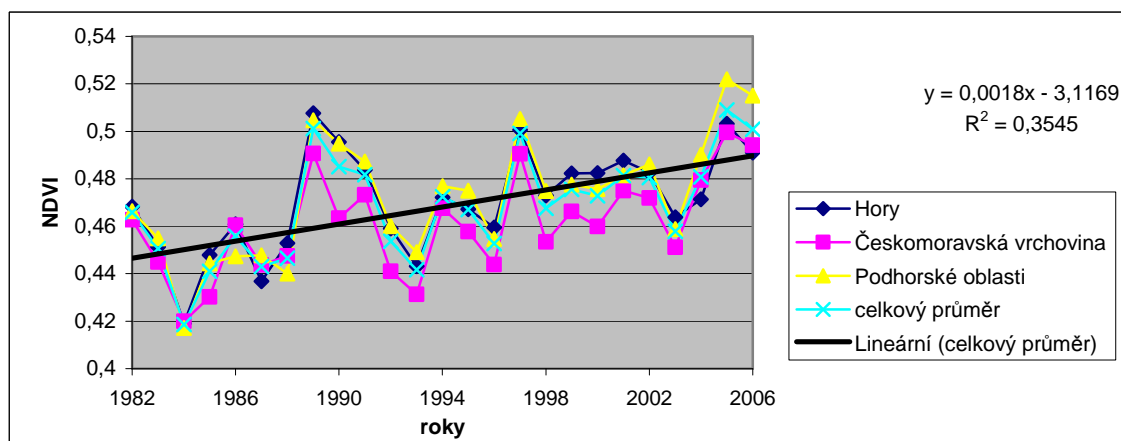
Graf 8: Průměrné teploty vzduchu v nížinné oblasti Česka v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

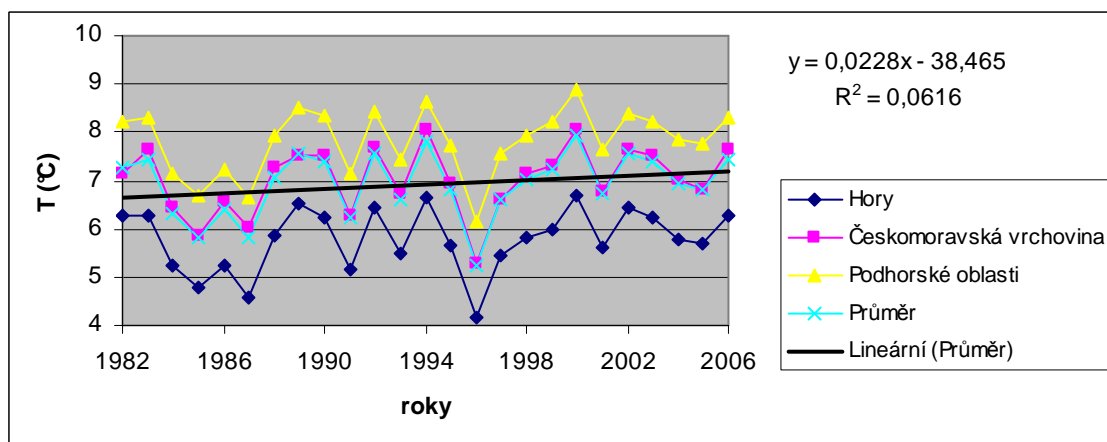
Horskou oblast jsem rozčlenila na oblast hor, které zahrnuje především hory hraniční a ještě je tam zařazen bod z Brd. Podhorské oblasti jsou především v oblastech podhůří hraničních hor a zvlášť jsem vyčlenila oblast Českomoravské vrchoviny, která je specifická svým krajinným rázem, kde se střídají zemědělské a lesní oblasti. Průměrný roční vzrůst hodnot (viz Graf 9) v celé oblasti je 0,0018, v oblasti hor 0,0016, v podhorských oblastech 0,0021 a v Českomoravské vrchovině 0,0016. V podhorských oblastech byl nárůst hodnot NDVI největší, což může být zapříčiněno zalesňováním a rušením zemědělských ploch v těchto oblastech. Nejvyšší hodnoty NDVI má oblast hor, což je dáno především vyšším počtem lesních oblastí. Těsně pod těmito hodnotami jsou podhorské oblasti. Nejnižší hodnoty NDVI pak má Českomoravská vrchovina, což je dáno především nižšími hodnotami v zimních měsících, kdy na zemědělských plochách není žádná vegetace. Roční průměrný vzrůst teplot (viz Graf 10) v horských oblastech je 0,0228 °C. Nejnižší hodnoty jsou podle předpokladů u horských oblastí, následuje Českomoravská vrchovina a nejteplejší jsou pak podhorské oblasti, což způsobuje především interpolace teplot, kdy tyto oblasti nejsou příliš rozsáhlé.

Graf 9: Průměrné hodnoty NDVI v horské oblasti Česka v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

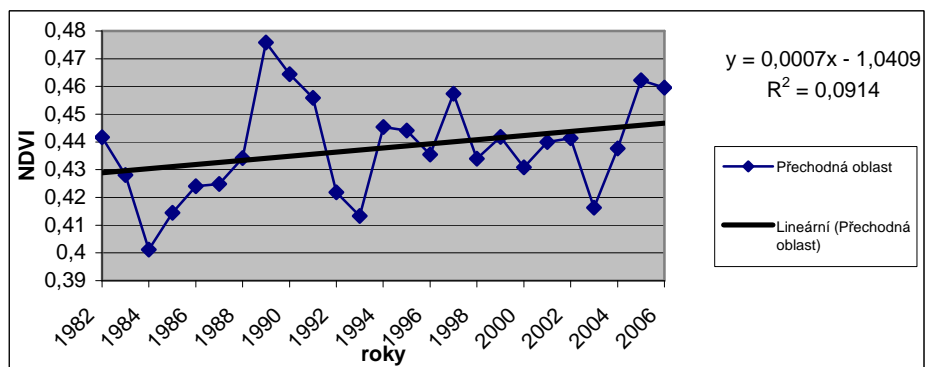
Graf 10: Průměrné teploty vzduchu v horské oblasti Česka v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

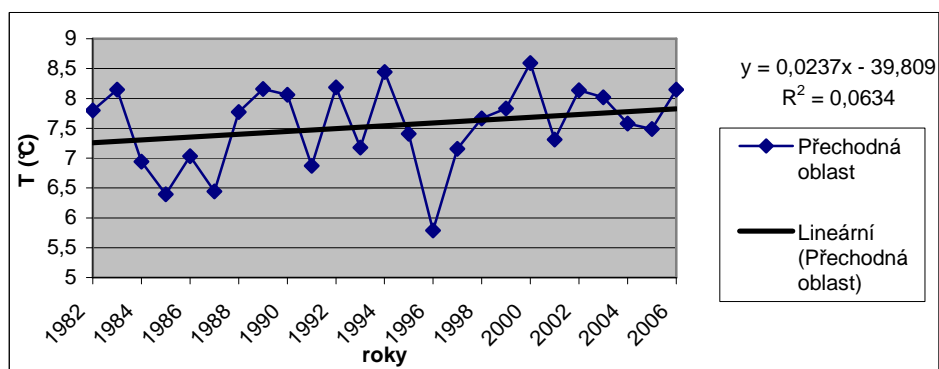
Přechodnou oblast jsem vytvořila z oblastí, které jsem nezařadila ani do nížin ani hor. Krajinový pokryv je zde především na přechodu zemědělské a lesní. Jsou zde oblasti více zemědělské, ale i více lesní. Průměrný roční vzrůst hodnot NDVI (viz Graf 11) je 0,0007, což je nejméně ze všech oblastí. Průměrný roční vzrůst teplot vzduchu (viz Graf 12) je 0,0237 °C.

Graf 11: Průměrné hodnoty NDVI v přechodných oblastech Česka v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Graf 12: Průměrné teploty vzduchu v přechodných oblastech Česka v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

4.2 Korelace mezi NDVI a klimatickými proměnnými

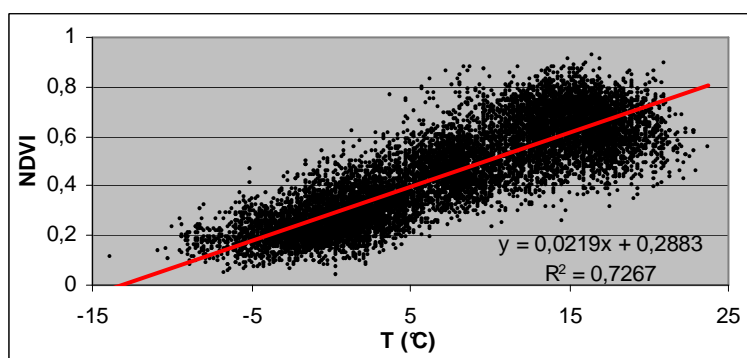
V předchozí kapitole jsem se zaměřila především na průběh a trendy hodnot NDVI, T a srážek (S). V této kapitole se naopak zaměřím na analýzu existence závislosti. Konkrétně to bude závislost mezi hodnotami NDVI a teplotou vzduchu a NDVI a srážkami. Sílu závislosti mezi těmito proměnnými posoudím pomocí výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu. Můžeme předpokládat, že závislost mezi těmito proměnnými bude existovat. Tvar zobrazím na bodovém grafu, proložím body regresní přímkou a výpočtu koeficientu determinace.

4.2.1 Česko

K hodnocení korelace NDVI a teploty vzduchu a NDVI a srážek jsem využila území Česka. Použila jsem 40 zkoumaných lokalit během 25 let s hodnotami za každý měsíc.

To znamená, že k výpočtu závislosti jsem použila 12 000 dvojic hodnot. Podle zobrazených hodnot v Grafu 13 jsem využila lineární závislosti a proložila jím regresní přímku. Ta má vzestupný charakter, to jednoduše řečeno znamená, že se vzrůstající teplotou roste i hodnota NDVI. Koeficient determinace vyšel 0,7267. To znamená, že jsem závislostí velikostí hodnot NDVI na T vysvětlila 72,7 % variability hodnot NDVI. Body v grafu zastupují vztah mezi NDVI a T. Hodnotu korelačního koeficientu však ovlivňují odlehlé hodnoty. Pearsonův korelační koeficient pro hodnoty NDVI a T na území Česka mezi lety 1982-2006 vyšel 0,85. Můžeme tedy říct, že teplota vzduchu a hodnoty NDVI spolu silně korelují. Na šesti časových horizontech jsem zkusila, jestli se korelační koeficient výrazně nezměnil. Vyšly hodnoty 1982 - 0,87, 1987 - 0,88, 1992 - 0,88, 1997 - 0,85, 2002 - 0,84 a 2006 - 0,83. To by mohlo naznačovat, že se hodnoty korelace spíše snižují. Abychom mohli toto tvrdit, muselo by se udělat podrobnější zkoumání.

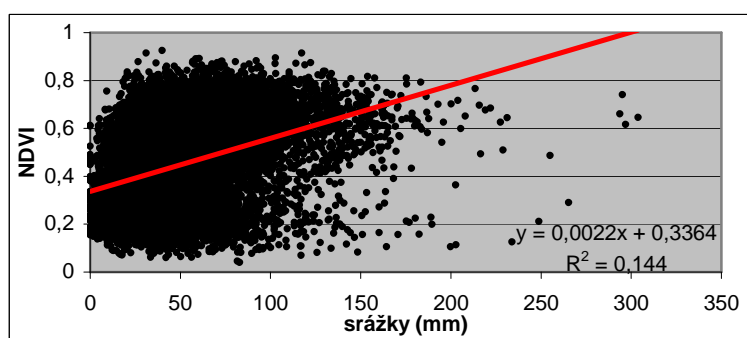
Graf 13: Korelace mezi teplotou vzduchu a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Korelace mezi hodnotami NDVI a srážkami je vidět na Grafu 14. K vystižení závislosti jsem využila regresní přímky, ta však nevystihuje plně skutečný tvar závislosti. Koeficient determinace vyšel 0,144. To znamená, že jsem závislostí velikostí hodnot NDVI na srážkách vysvětlila pouze 14,4 % variability hodnot NDVI. Pearsonův korelační koeficient pro hodnoty NDVI a srážek na území Česka mezi lety 1982-2006 vyšel 0,38. Hodnota je však ovlivněna odlehlými hodnotami. Srážky tedy nekorelují s hodnotami NDVI tak silně jako teplota vzduchu, ale jistá závislost se zde vyskytuje.

Graf 14: Korelace mezi srážkami a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006

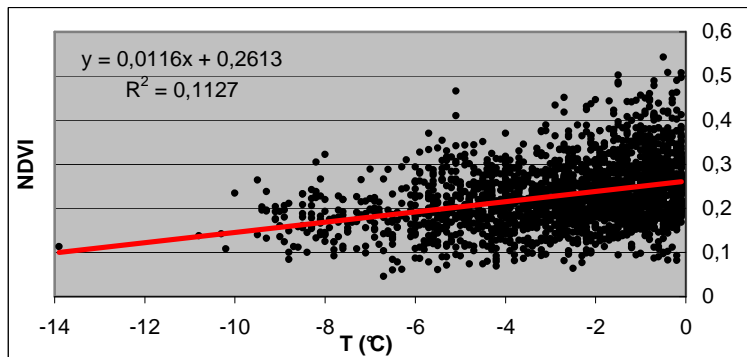


Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

V jedné evropské studii, zabývající se převážně o vztah NDVI a fyziologické činnosti borovice lesní ve Finsku, došli k závěru, že hodnota NDVI a průměrné hodnoty teploty vzduchu silně korelují. Konkrétně pak tvrdí, že když teplota vzduchu přesahuje 0 °C, hodnoty NDVI rostou, a mají tendenci k zvýšení dokud nedosáhnou 10 °C (WANG ... [et al.], 2004).

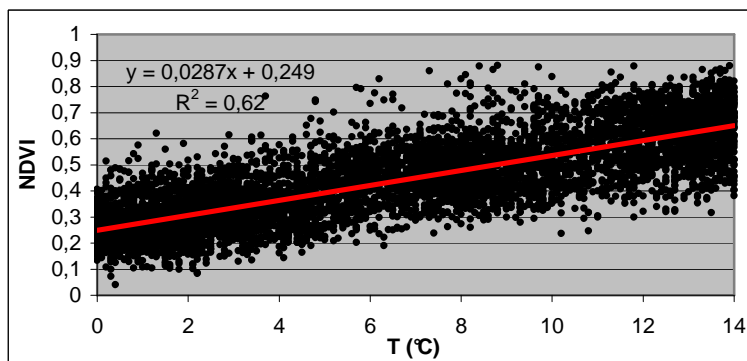
To samé jsem se pokusila prokázat na území Česka. Snažila jsem se proložit daty v oblasti 0-10 °C regresní přímkou. V této teplotní oblasti mi vyšla regresní přímka s koeficientem u x, 0,0287 a koeficientem determinace 0,46. Pokud jsem rozšířila oblast dat do minusových hodnot sklon přímky se zmenšil. Tudíž trend, že pokud překročí teplota hodnotu 0 °C, hodnoty NDVI se výrazně zvětšují, mi na území Česka také vyšlo. Pokud jsem teplotní oblast rozšířila nad 10 °C, tak sklon regresní přímky měl vzůstající tendenci až do 14 °C, kde mi vyšel stejný sklon ale vyšší koeficient determinace než u 13 °C. Na území Česka tak až po překročení průměrné teploty vzduchu 14 °C klesá hodnota NDVI. Koeficient determinace je v této skupině dat pouze 0,02. Trendy v těchto teplotních oblastech můžeme vidět na Grafu 15, 16 a 17. Korelační koeficient záporných teplot a NDVI je 0,34, teplot mezi 0-14 °C a NDVI 0,79 a teplot nad 14 °C a NDVI je záporný a to -0,14. V oblasti záporných teplot byly použito 2 318 dvojic hodnot, u teplot mezi 0-14 °C 6 525 dvojic hodnot a u teplot nad 14 °C 3 157 dvojic hodnot. Negativní korelace v oblasti vyšších teplot může být způsobena zvyšujícími teplotami a tedy i částečně globálním oteplováním. Výsledkem zvýšené teploty, která urychluje odpařování vody a způsobuje nedostatek vody, je omezení vegetačního růstu.

Graf 15: Korelace mezi teplotou menší než 0 °C a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006



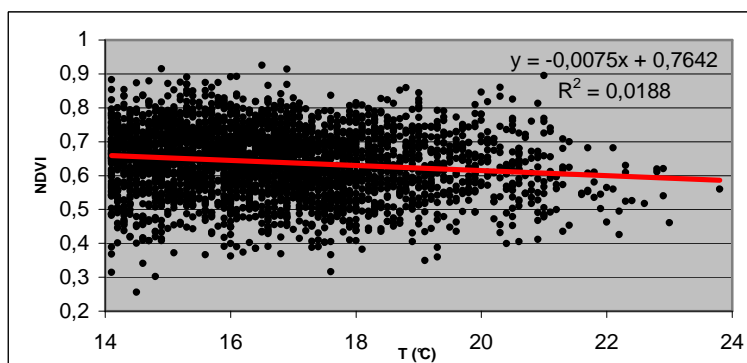
Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Graf 16: Korelace mezi teplotou mezi 0-10 °C a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Graf 17: Korelace mezi teplotou vyšší než 14 °C a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

4.3 Trendy v sezónních hodnotách NDVI

K rozpoznání změn v sezónních hodnotách NDVI jsem vypočetla průměrné roční zvýšení sezónních hodnot NDVI, průměrnou míru nárůstu sezónních NDVI (%) a koeficienty korelace mezi NDVI a teplotou a NDVI a srážkami. Podrobněji vysvětlují tyto ukazatele v kapitole 3.3.1 Statistické analýzy. Výsledky by měly naznačit, jak se měnily hodnoty NDVI v jednotlivých ročních obdobích, jestli došlo k nárůstu či k poklesu. Rok jsem rozdělila na jaro, léto, podzim a zimu. Měsíce jsou přiřazené k jednotlivým obdobím podle všeobecného povědomí. To znamená: jaro - březen, duben, květen; léto - červen, červenec, srpen; podzim - září, říjen, listopad; zima - prosinec, leden, únor.

4.3.1 Česko

Na trendy NDVI v jednotlivých ročních obdobích jsem se zaměřila na území Česka. Jako již na meziroční rozdíly v hodnotách NDVI jsem rozdělila Česko na tři oblasti. Jsou nížinné oblasti, horské oblasti a oblast na přechodu mezi těmito kategoriemi. Výsledky jednotlivých výše popsaných koeficientů můžete vidět v Tab. 3.

Tab. 3: Trendy v hodnotách NDVI v Česku podle ročních období v letech 1982-2006

		Jaro				Léto				Podzim				Zima			
		Z	P	R _t	R _s	Z	P	R _t	R _s	Z	P	R _t	R _s	Z	P	R _t	R _s
Nížiny	Polabí	0,22	0,28	0,89	0,41	-0,11	0,26	-0,34	-0,02	0,21	1,78	0,79	0,02	0,18	2,02	0,41	-0,11
	Mor. Ú.	0,21	0,31	0,87	0,43	0,03	0,16	-0,29	0,08	0,32	1,55	0,74	0,1	0,05	1,18	0,47	-0,15
	celkem	0,22	0,24	0,88	0,42	-0,03	0,15	-0,28	0,09	0,28	1,59	0,75	0,1	0,1	1,46	0,45	-0,13
Hory	Hory	0,31	0,33	0,77	0,09	0,0006	0,16	-0,25	-0,003	0,28	1,42	0,75	-0,04	0,05	1,07	0,32	-0,41
	Podhůří	0,39	0,38	0,89	0,24	0,06	0,55	-0,06	0,01	0,29	1,74	0,8	0,01	0,11	1,4	0,32	-0,16
	Česk. v	0,3	0,17	0,9	0,44	0,02	0,38	-0,24	-0,02	0,23	1,66	0,81	0,04	0,09	1,82	0,55	-0,24
	celkem	0,33	0,27	0,84	0,23	0,03	0,35	-0,15	0,01	0,27	1,55	0,77	0,02	0,09	1,35	0,34	-0,27
Přechodné ob.		0,19	0,05	0,87	0,39	-0,13	0,2	-0,24	0,01	0,16	1,37	0,75	0,05	0,08	1,09	0,42	-0,23

Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS a GlobalClimate Resource

Poznámka: Z- průměrné roční zvýšení sezónních hodnot NDVI (*0,01)

P- průměrná míra nárůstu sezónních NDVI (% za rok)

R_t- koeficient korelace mezi NDVI a teplotou

R_s-koeficient korelace mezi NDVI a srážkami

Rostoucí tendence byly patrné ze čtyř ročních období pouze ve třech. V letním období byly v některých oblastech tendence poklesové. Jinak ostatní období přispěly k růstu ročních průměrných hodnot NDVI.

V **oblasti nížin** byl největší nárůst hodnot NDVI na podzim a to konkrétně 0,0028. Ještě vyšší růst byl v oblasti Moravských úvalů a to 0,0032. Následuje jarní období s průměrným nárůstem 0,0022 a zima 0,001. V letním období v oblasti nížin došlo k poklesu hodnot mezi lety 1982-2006. Celkový pokles je $-0,0003$ a v Polabí je pak ještě větší $-0,0011$. V oblasti Moravských úvalů pak došlo k mírnému nárůstu 0,0003. Průměrná míra nárůstu v % za rok pak byla nejvyšší v nížinné oblasti na podzim a zimě, kdy dosáhla 1,59 % a 1,46 %. Nejmenší pak byla v létě, kdy průměrný míra nárůstu dosáhla 0,15 % za rok. Korelační koeficient mezi NDVI a T byl na jaře 0,88, na podzim 0,75, v zimě 0,45 a nejmenší byl v létě a to $-0,28$, kdy byla korelace dokonce záporná, což znamená, že s rostoucí teplotou klesají hodnoty NDVI. Jistou roli zde může hrát i sklizeň probíhající v tomto ročním období. Nejvyšších hodnot dosáhl korelační koeficient mezi NDVI a srážkami v jarním období 0,42 nejmenší pak byl v zimě $-0,13$.

V **horské oblasti**, které by měly být nejvíce stabilní oblastí s lesními porosty, byl rostoucí trend ve všech ročních období. Ze všech podoblastí byl téměř u všech ukazatelů největší nárůst hodnot v podhorské oblasti. Jak už jsem jednou zmínila, to bude zřejmě ukazovat na zvyšující se míru zalesnění, stárnutí lesa, nabírání biomasy a rušení zemědělských ploch. Nejvyšší průměrný roční nárůst hodnot NDVI celkově v horské oblasti je na jaře 0,0033, následuje podzim 0,0027, zima 0,0009 a léto, kde je to pouze 0,0003. V podkategorii hor je pak nárůst hodnot v letním období pouze 0,000006 za rok. Průměrná míra nárůstu hodnot NDVI v % za rok je pak stejně jako u nížin největší na podzim 1,55 % a v zimě 1,35 %. Nejmenší pak na rozdíl od nížin na jaře 0,27 % za rok. Korelační koeficienty mezi NDVI a teplotou jsou pak nejvyšší na jaře 0,84 a na podzim 0,77 a nejmenší v létě $-0,15$. I zde s v letním období projevuje trend, že se zvyšující se teplotou klesá hodnota NDVI, ale v mnohem menší míře než u nížinné oblasti. Korelační koeficient mezi NDVI a srážkami byl i zde nejvyšší na jaře 0,23. I když v oblasti hor byl jen 0,09, což je nejmín z jarního období, a ukazuje tak, že vegetace horské lesní oblasti není tolik závislá na množství srážek. Naopak v zimě byl korelační koeficient mezi NDVI a srážkami nejmenší a to $-0,41$, což ukazuje, že se zvyšujícími srážkami klesá hodnota NDVI. V této oblasti je to patrné převážně s nižšími teplotami vzduchu a tudíž s výskytem sněhové pokrývky.

V **přechodných oblastech** pak nejvyšší průměrný nárůst hodnot NDVI na jaře 0,0019, následuje podzim 0,0016 a nejmenší hodnoty jsou v zimě 0,0008 a především v létě, kde byl pokles až $-0,0013$. Tento pokles je největší ze všech oblastí. Nejvyšší nárůst v % za rok je v této oblasti na podzim 1,37 % a v zimě 1,09 %. Korelace mezi T a NDVI je nejvyšší na jaře 0,87 a na podzim 0,75 a záporná pak v létě $-0,13$. Korelační koeficient R_s vyšel ve stejných relacích jako u předcházejících oblastí, to znamená největší na jaře 0,39 a záporný v zimě $-0,23$.

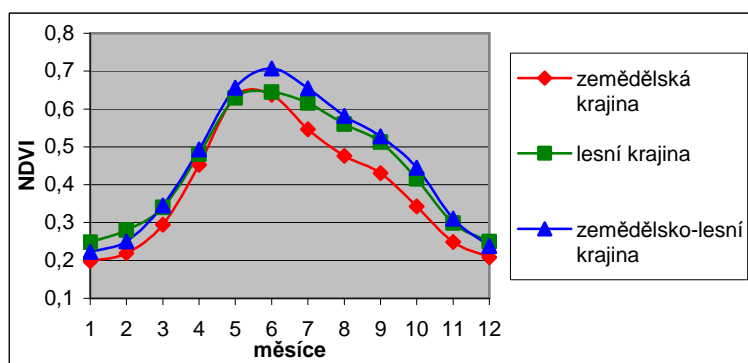
Když bych to shrnula, tak nejvyšší nárůst hodnot podle prvního ukazatele byl na jaře a na podzim, nejmenší pak převážně v létě, kdy v některých oblastech dosáhl i záporných hodnot. Druhý ukazatel průměrná míra nárůstu sezónních NDVI z předchozího roku (% za rok)

pak vyšla nejvyšší na podzim a v zimě. Koeficient korelace mezi T a NDVI pak vyšel nejvyšší v jarním období, následovaný podzimem. Záporný pak vyšel ve všech oblastech v létě, což znamená, že pokud teploty dosahují vyšších hodnot, hodnota NDVI klesá. Ovšem musíme počítat s tím, že odezva NDVI na teplotu má patrně nějakou proluku. Korelační koeficient R_s vyšel největší na jaře, to znamená, že pokud jsou vyšší srážky má NDVI vyšší hodnotu. Nejnižší R_s vyšlo v zimě se zápornými hodnotami, což znamená, že se zvyšujícími srážkami klesá hodnota NDVI.

4.4 Vztah vegetačního pokryvu a ročního průběhu NDVI

V této kapitole se zaměřím především na rozdíly v průběhu vegetačního období u tří krajinných pokryvů. Tyto typy krajinného pokryvu jsou lesní krajina, zemědělská krajina a zemědělsko-lesní krajina. Jednotlivé ortofotosnímky krajin jsou na Obr. 12, 13 a 14. Takto vymezené oblasti odpovídají území pixelu rastru hodnot NDVI databáze GIMMS. Pokusím se odpovědět na otázky tohoto typu. Jaký je rozdíl v průběhu ročního NDVI u jednotlivých krajinných pokryvů? Změnil se nějak roční průběh u těchto typů krajinných pokryvů? Jaká je souvislost ročního průběhu NDVI s teplotou? U jednotlivých pokryvů se pak také zaměřím na souvislost se změnami využití půdy CORINE.

Graf 18: Roční průběh hodnot NDVI mezi lety 1982-2006 v jednotlivých krajinných pokryvech



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

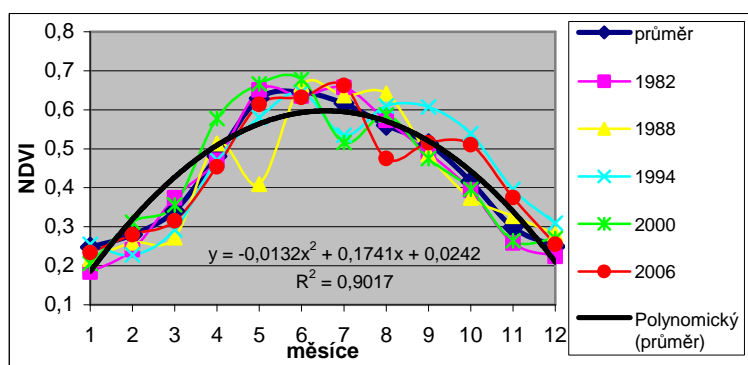
Na Grafu 18 je vidět srovnání ročních průběhů NDVI u jednotlivých krajinných pokryvů. Podrobnější popis pokryvů je v následujících kapitolách 4.4.1, 4.4.2 a 4.4.3. Jak je vidět, tak zemědělská krajina má podle očekávání nejmenší hodnoty NDVI v zimním období ze všech krajinných pokryvů. To proto, že zemědělská půda je v zimě holou půdou bez vegetace a nebo je pokryta sněhovou pokrývkou. NDVI sněhu a ledu má hodnoty kolem $-0,046$ (WILLIAMS, 1995, Cit. In DOBROVOLNÝ, 1998, s. 196). Na rozdíl od dalších krajinných pokryvů je zde vidět výrazný pokles hodnot NDVI v červenci a srpnu, což je dáno především obdobím sklizně. V září už je potom pokles hodnot opět mírnější. Tvar křivky NDVI je nejpozvolnější, to znamená, že lesy nejsou náchylné například na změny teplot nebo na srážky. Díky neopadavým jehličnatým lesům, pak má vysoké hodnoty NDVI i v zimním

období. U zemědělsko-lesní krajiny mě překvapilo, že dosahuje nejvyšších hodnot NDVI. Ale i zde je vidět prudší pokles u hodnot NDVI v červenci a srpnu.

4.4.1 Lesní krajina

Území, které jsem vybrala, aby zastupovalo lesní krajinu, se nachází SV od města Brna. V oblasti se nachází sídlo Ochoz u Brna a část území zasahuje do CHKO Moravský Kras. Červený bod v mapě (viz Obr. 12) je bod o souřadnicích 16,75 ° v.d. a 49,25 ° s.š. Oblast, kterou jsem vybrala, byla celkem stabilní. Vyskytují se zde v převážné míře lesní porosty jehličnaté ale i listnaté. Jsou zde louky přírodního i kulturního charakteru. Najdeme zde i pár zemědělských ploch a to převážně v blízkosti několika sídel. Je zde i část území současné těžby a jelikož jde o krasovou oblast půjde s největší pravděpodobností o vápenec. Podle dat využití půdy CORINE se změnily mezi lety 1990 a 2000 především dva lesní prostory a šlo o jehličnatý les na smíšený a smíšený na louky. Z roku 2000 na 2006 pak došlo k rozšíření těžebních ploch a částečně i zastavěných oblastí. V blízkosti Ochozu u Brna se pak změnila nezavlažovaná orná půda na zemědělskou oblast s přirozenou vegetací.

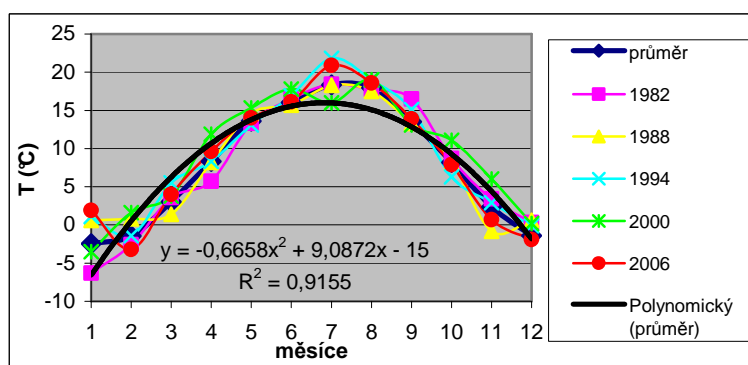
Graf 19: Roční průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech v lesní oblasti



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Když se podíváme na průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech 1982, 1988, 1994, 2000 a 2006 (viz Graf 19), jsou zde vidět rozdílné průběhy křivek. Například v roce 1988 je výrazný pokles hodnoty NDVI v květnu. U žádného dalšího roku tento květnový pokles není vidět. Naopak ve zbylých letech je vidět pokles v období července nebo srpna a následný vzrůst hodnot, což můžou způsobit výrazně vyšší teploty v těchto měsících, jak můžeme vidět na grafu rozložení teplot v této oblasti (viz Graf 20). Je zajímavé, že v roce 2000 byla ze zobrazených roků nejnižší teplota i nejnižší hodnota NDVI. Naopak v roce 1994 byla teplota nejvyšší, ovšem hodnota NDVI druhá nejnižší. Může to znamenat, že NDVI hodnota nezávisí pouze jenom na teplotě, ale na mnohem více faktorů jako například na množství srážek.

Graf 20: Roční průběh teplot vzduchu v pěti časových horizontech v lesní oblasti



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

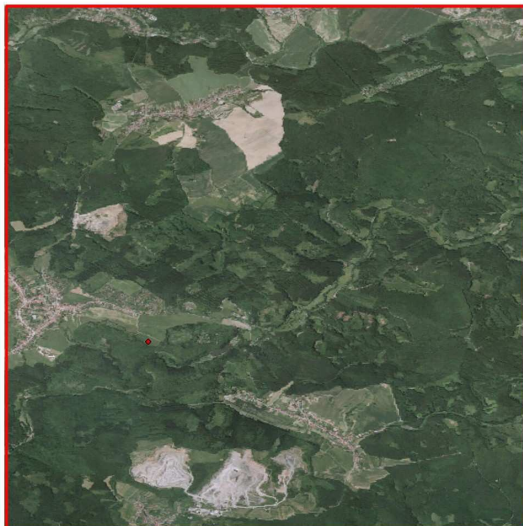
Při porovnání průměrných křivek průběhu hodnot NDVI a teploty vzduchu v lesní oblasti jsou vidět vrcholy v různých obdobích roku a i průběh je trochu odlišný, i když jsou si na první pohled velmi podobné. Průběh průměrné křivky NDVI je prudký nárůst hodnot v jarním období konkrétně v březnu a dubnu, pak následuje vrchol na přelomu května a června a pozvolný pokles hodnot až do zimy. Průběh průměrné roční křivky teploty vzduchu v lesní oblasti je pozvolný nárůst hodnot až na vrchol na přelomu července a srpna a následuje prudší pokles hodnot až do zimy. Dalo by se říci, že průběh křivek je vlastně opačný. Můžeme vyvodit, že když se teplota dostane do vyšších hodnot, NDVI poklesne.

Obr. 12: Vývoj využití půdy v lesní oblasti

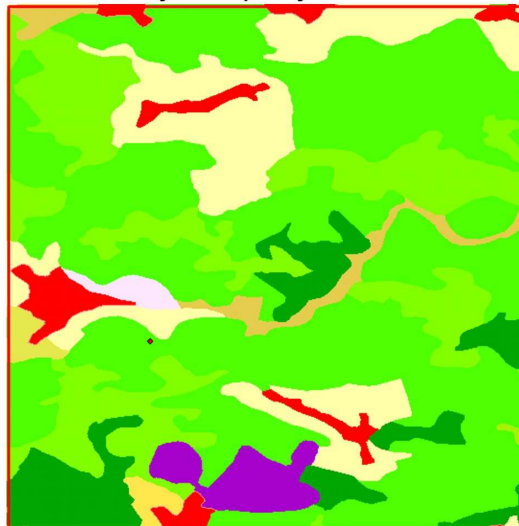
VÝVOJ VYUŽITÍ PŮDY V LESNÍ OBLASTI

mezi lety 1990, 2000 a 2006 SV od Brna

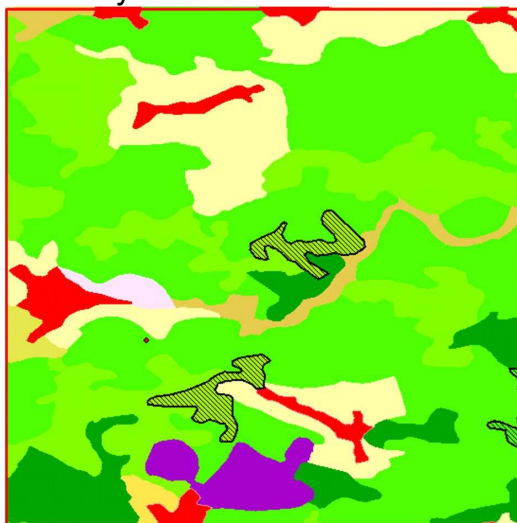
Ortofoto snímek



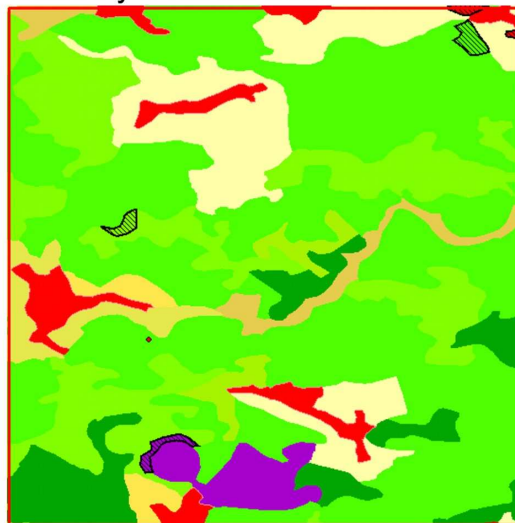
CORINE využití půdy 1990



CORINE využití půdy 2000
a změny s rokem 1990

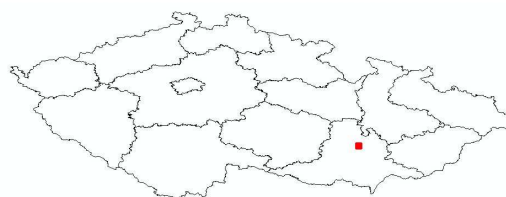


CORINE využití půdy 2006
a změny s rokem 2000



- Souvislá městská zastavba
- Oblasti současné těžby surovin
- Nezavlažovaná orná půda
- Louky a pastviny
- Směsice polí, luk a trvalých plodin
- Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací
- Listnaté lesy
- Jehličnaté lesy
- Smíšené lesy
- Přírodní louky
- Změny využití půdy

0 4 km

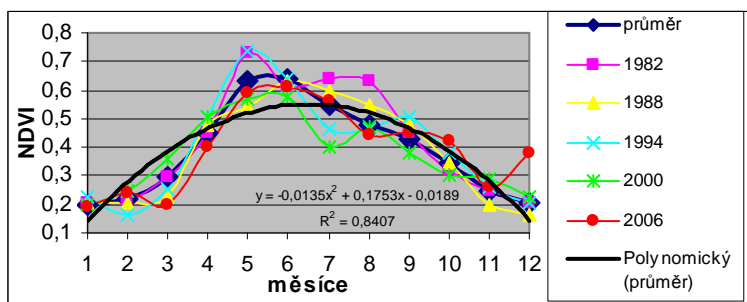


Zdroj: Autor, použita data z geoportal.cenia.cz

4.4.2 Zemědělská krajina

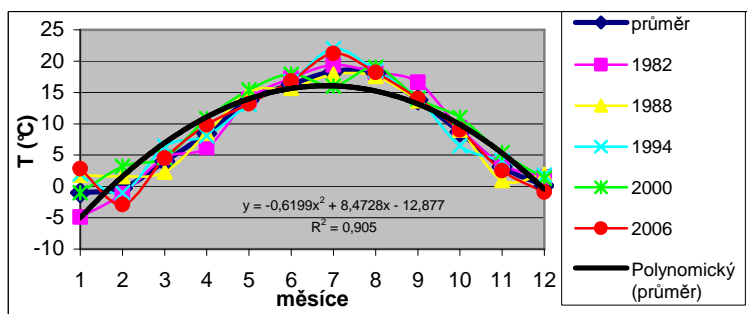
Oblast, reprezentující zemědělskou krajinu, je v okolí sídla Velvar. Nachází se SZ od Prahy a Kralup nad Vltavou. Je to oblast na levém břehu Vltavy. Bod nacházející se v mapě (viz Obr. 13) má souřadnice 14,25 ° v.d. a 50,25 ° s.š. Podle dat klasifikace AVHRR tato oblast patří téměř celá do kategorie orné půdy. V této oblasti se vyskytuje převážně orná nezavlažovaná půda. Změny ve využití půdy byly podle CORINE minimální. Nevýznamně je zde vznik mezi lety 1990 a 2000 ke vzniku oblasti těžby surovin, tato oblast se pak mezi lety 2000 a 2006 ještě rozšířila. Mezi lety 2000 a 2006 pak ještě došlo k rozšíření zemědělských oblastí s přirozenou vegetací v blízkosti sídel a změny malého polygonu nízkého porostu v lese na zemědělskou oblast s přirozenou vegetací. Na území Velvar pak došlo k mírnému zmenšení průmyslových areálů, což mě překvapilo, protože obecný trend je opačný. Když bych zhodnotila změny využití půdy vzhledem k NDVI, tak ten by měl spíše poklesnout vzhledem ke vzniku oblasti těžby.

Graf 21: Roční průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech v zemědělské oblasti



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Graf 22: Roční průběh teplot vzduchu v pěti časových horizontech v zemědělské oblasti



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

Průběh křivek NDVI (viz Graf 21) v jednotlivých letech se mnohem více liší od průměru než například u lesní oblasti. Hodnoty NDVI jsou v zemědělské oblasti více závislé na přírodních podmínkách, jako je teplota nebo srážky a také závislé na tom, co na poli roste např. řepka nebo kukuřice. I v této oblasti je vidět pokles hodnot NDVI v roce 2000 v červenci a je mnohem vyšší než u lesní oblasti. Vrchol křivky NDVI je také dřívější než u lesní oblasti a to většinou už v květnu. Je zde také vidět výraznější pokles na přelomu července a srpna v době sklizně. Při porovnání křivek teploty vzduchu (viz Graf 22) a NDVI pak musím

konstatovat, že platí vše jako u lesní oblasti. Největším rozdílem bude už zmíněný pokles hodnot NDVI v době sklizně.

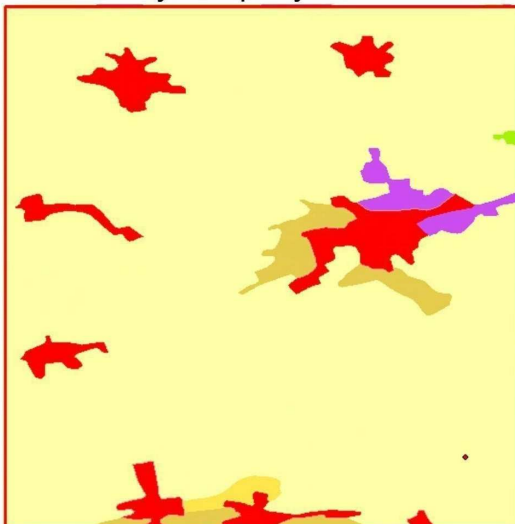
Obr. 13: Vývoj využití půdy v zemědělské oblasti

VÝVOJ VYUŽITÍ PŮDY V ZEMĚDĚLSKÉ OBLASTI mezi lety 1990, 2000 a 2006 v oblasti Polabí

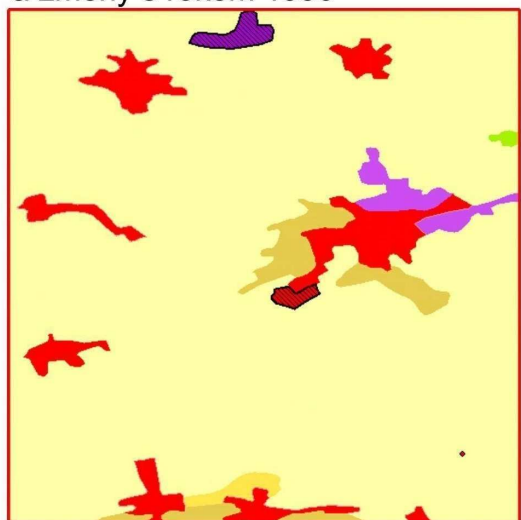
Ortofoto snímek



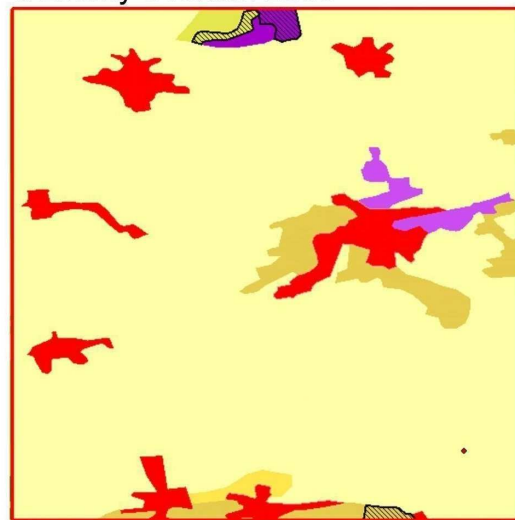
CORINE využití půdy 1990



CORINE využití půdy 2000
a změny s rokem 1990

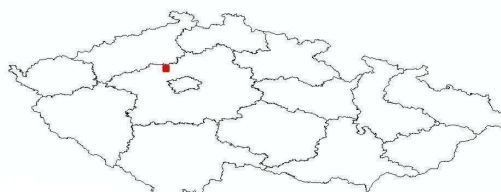


CORINE využití půdy 2006
a změny s rokem 2000



- Souvislá městská zastavba
- Oblasti současné těžby surovin
- Průmyslové a obchodní areály
- Nezavlažovaná orná půda
- Louky a pastviny
- Směsice polí, luk a trvalých plodin
- Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací
- Nízký porost v lese
- Změny využití půdy

0 4 km

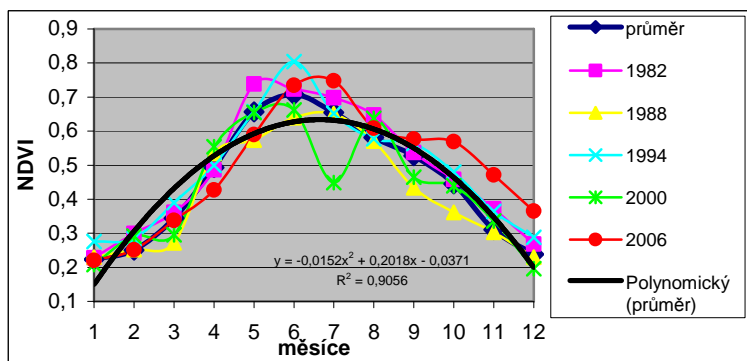


Zdroj: Autor, použita data z geoportal.cenia.cz

4.4.3 Zemědělsko-lesní krajina

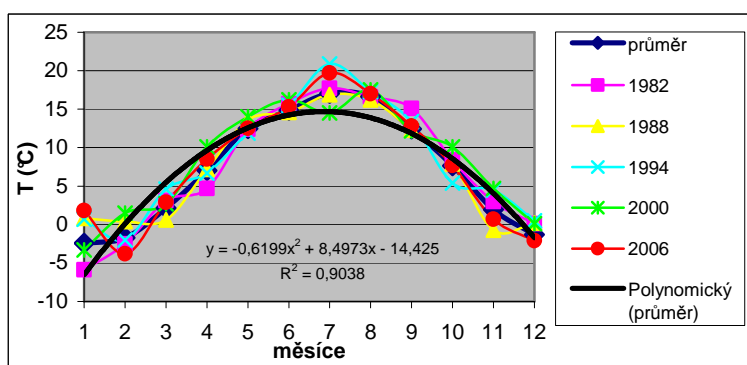
Oblast, zastupující zemědělsko-lesní krajinu, je typickou oblastí Českomoravské vrchoviny. Je to okolí bodu o zeměpisných souřadnicích 15,25 ° v.d. a 49,75 ° s.š. Nachází se na hranicích krajů Vysočina a Středočeského. V území je sídlo Bohdaneč a Bělá. Podle dat AVHRR klasifikace se zde nacházejí kategorie jehličnatých lesů, zalesněná krajina a orná půda. Na Obr. 14 je vývoj využití půdy CORINE. Mezi lety 1990, 2000 a 2006 došlo celkem na velké ploše ke změně nízkého porostu v lese na jehličnatý les. K dalším změnám, ke kterým došlo, je především změna orné nezavlažované půdy na zemědělsko oblast s přirozenou vegetací. Hodnota NDVI by se tedy měla zvyšovat. Na Grafu 23 a 24 je pak vidět průběh hodnot NDVI a teplot vzduchu. Průběh je podobný jako u předchozích oblastí. Například pokles hodnot v období sklizně je patrný, ale mnohem méně než u zemědělské oblasti. Zajímavý je nárůst hodnot v roce 2006, který u předchozích oblastí nebyl patrný, a může být způsoben nárůstem lesní oblasti.

Graf 23: Roční průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech v zemědělsko-lesní oblasti



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Graf 24: Roční průběh teplot vzduchu v pěti časových horizontech v zemědělsko-lesní oblasti



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

Obr. 14: Vývoj využití půdy v zemědělsko-lesní oblasti

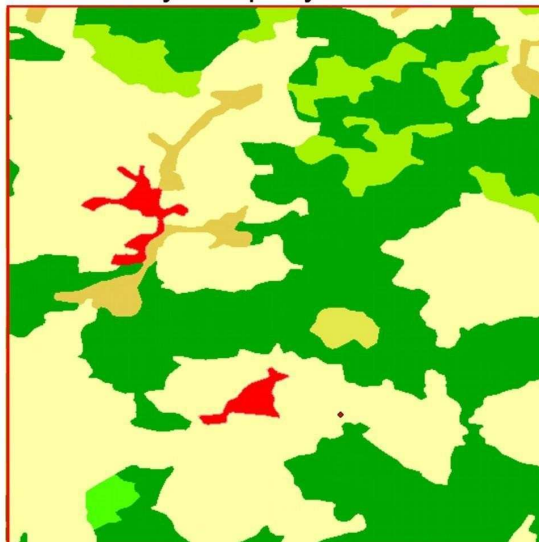
VÝVOJ VYUŽITÍ PŮDY V ZEMĚDĚLSKO-LESNÍ OBLASTI

mezi lety 1990, 2000 a 2006 v oblasti Českomoravské vrchoviny

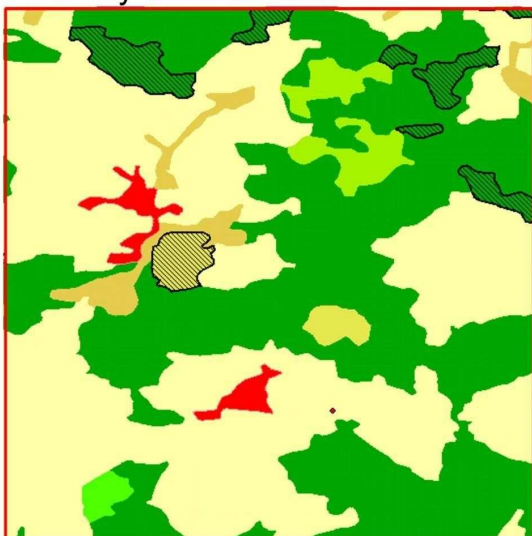
Ortofoto snímek



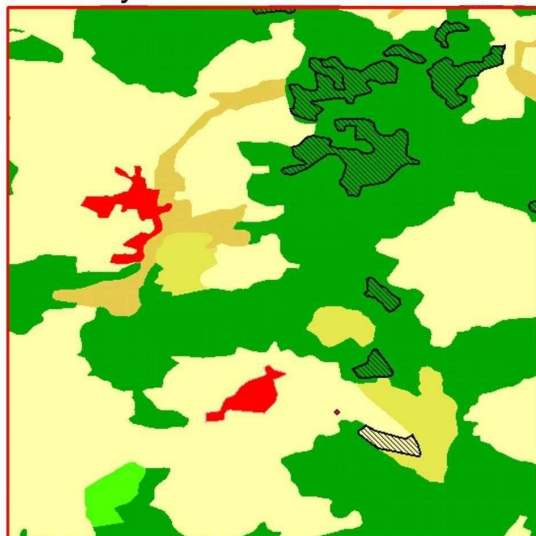
CORINE využití půdy 1990



CORINE využití půdy 2000
a změny s rokem 1990



CORINE využití půdy 2006
a změny s rokem 2000



- Souvislá městská zastavba
- Nezavlažovaná orná půda
- Louky a pastviny
- Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací
- Listnaté lesy
- Jehličnaté lesy
- Nízký porost v lese
- Změny využití půdy

0 4 km



Zdroj: Autor, použita data z geoportal.cenia.cz

4.5 Šířková pásmovitost dokumentovaná pomocí NDVI ve Finsku

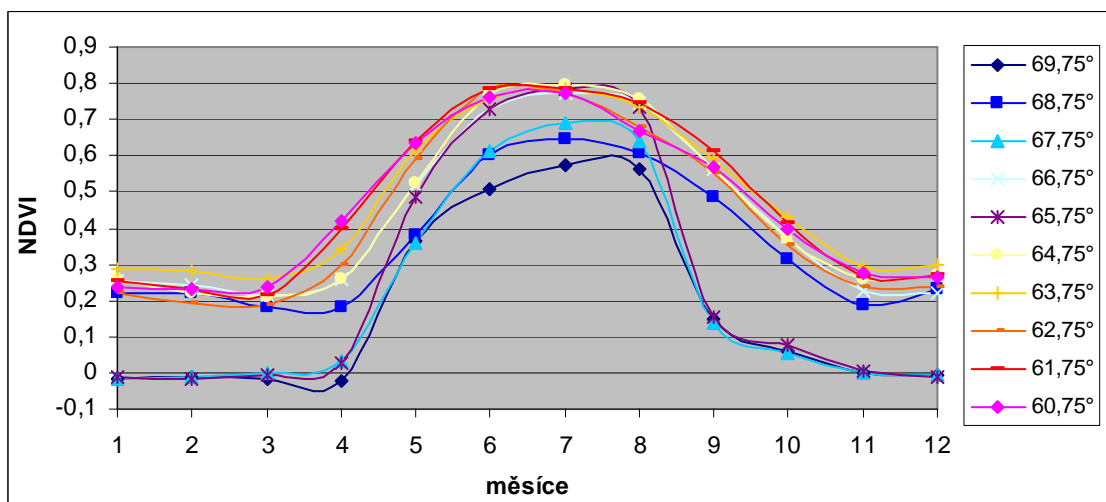
V této kapitole se podívám na hodnoty NDVI v oblasti Finska a to především z důvodu odlišné zeměpisné šířky a odlišných klimatických podmínek. Zaměřím se především na změnu průběhu vegetačního období a změnu teplot vzduchu v oblasti od S k J v přibližně 10 ° šířky. Pokusím se zdokumentovat šířkovou pásmovitost pomocí NDVI.

V příloze E se nachází grafy rozložení vegetačního období pomocí NDVI za 5 časových horizontů od 69,75 ° s.š. po 60,75 ° s.š. Jsou to roky 1982, 1988, 1994, 2000 a 2006 a průměr hodnot roků 1982-2006. Z těchto grafů nelze jednoznačně říci, že by se hodnoty u současných roků výrazně zvětšovaly nebo se rozšiřovalo vegetační období. Pokud však 20 bodů v této oblasti od S k J dám do regresní analýzy, tak mi vyjde jako u států střední Evropy průměrný roční nárůst hodnot NDVI kladný a to 0,0006.

Na Grafu 25 pak můžeme vidět rozložení hodnot NDVI během roku po jednom stupni od S k J. Modré křivky patří severním bodům a křivky v teplých barvách naopak jižnějším. Je zde vidět jasné rozšiřování vegetačního období směrem k jihu, zvyšování maximálních hodnot NDVI, což je zapříčiněno především delším vegetačním obdobím. Dále pak směrem k jihu nejsou hodnoty NDVI v zimě v záporných hodnotách, což signalizuje souvislejší sněhovou pokrývku. Zajímavé zde ovšem je, že např. u bodu na 68,75 ° s.š. jsou zde hodnoty v zimních měsících kladné, ale další jižnější body mají zimní hodnoty NDVI opět záporné. Toto by např. mohlo způsobit větší množství jehličnatých lesů, což však využití půdy na Obr.15 vylučuje, jelikož zde převládají především smíšené lesy. Další oblastí s tímto jevem je ještě 66,75 ° s.š., kdy opět okolní body (severněji i jižněji) jsou záporné. Zde se nachází už více jehličnatých lesů, ale stále je zde i dostatek smíšených. Naopak u dat AVHRR Global Land Cover Classification 8 km jsou v blízkosti těchto bodů klasifikovány pixely jako stále zelené jehličnaté lesy, i když v okolních oblastech převažuje kategorie zalesněné krajiny. Takže přeci jen může být příčina ve větším množství jehličnatých lesů. K definitivní změně zimních hodnot ze záporných na kladné hodnoty je pak na 65,25 ° s.š. V severních oblastech dochází k nárůstům NDVI až v pozdějších jarních měsících především květnu. Nárůst je pak prudký až do července, kdy pak dochází opět k poklesu. Největší pokles je pak v období mezi srpnem a zářím. Vegetační křivka v jižních oblastech je skoro symetrická. V dubnu dochází k nárůstu NDVI, ty mají nejvyšší hodnoty v červnu, červenci a srpnu. Následuje pozvolný pokles opět na hodnoty nad 0,2.

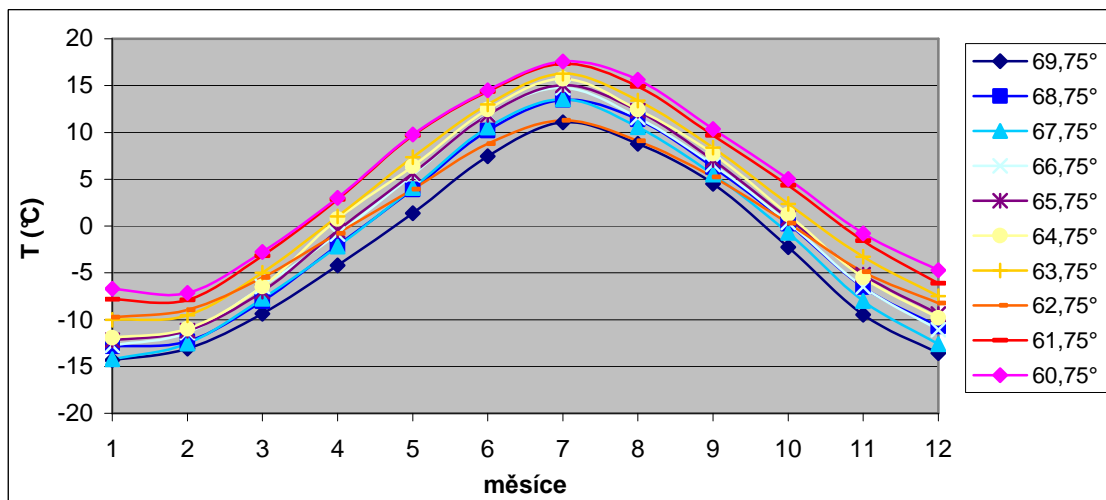
Při pohledu na Graf 26, kde je znázorněno rozložení teplot vzduchu od 60 ° s.š. až po 70 ° s.š., je zde vidět jasný trend ochlazování směrem na sever. Jediná křivka na 62,75 ° s.š. vybočuje a to jen v letních hodnotách. Můžeme tedy tvrdit, že roční křivka NDVI v této oblasti závisí na teplotách. Čím severněji oblast leží, tím jsou zde menší teploty a následně kratší vegetační období i maximální hodnoty.

Graf 25: Rozložení hodnot NDVI během roku od 60° s.š. až po 70° s.š. ve Finsku v letech 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Graf 26: Rozložení teplot během roku od 60° s.š. až po 70° s.š. ve Finsku v letech 1982-2006

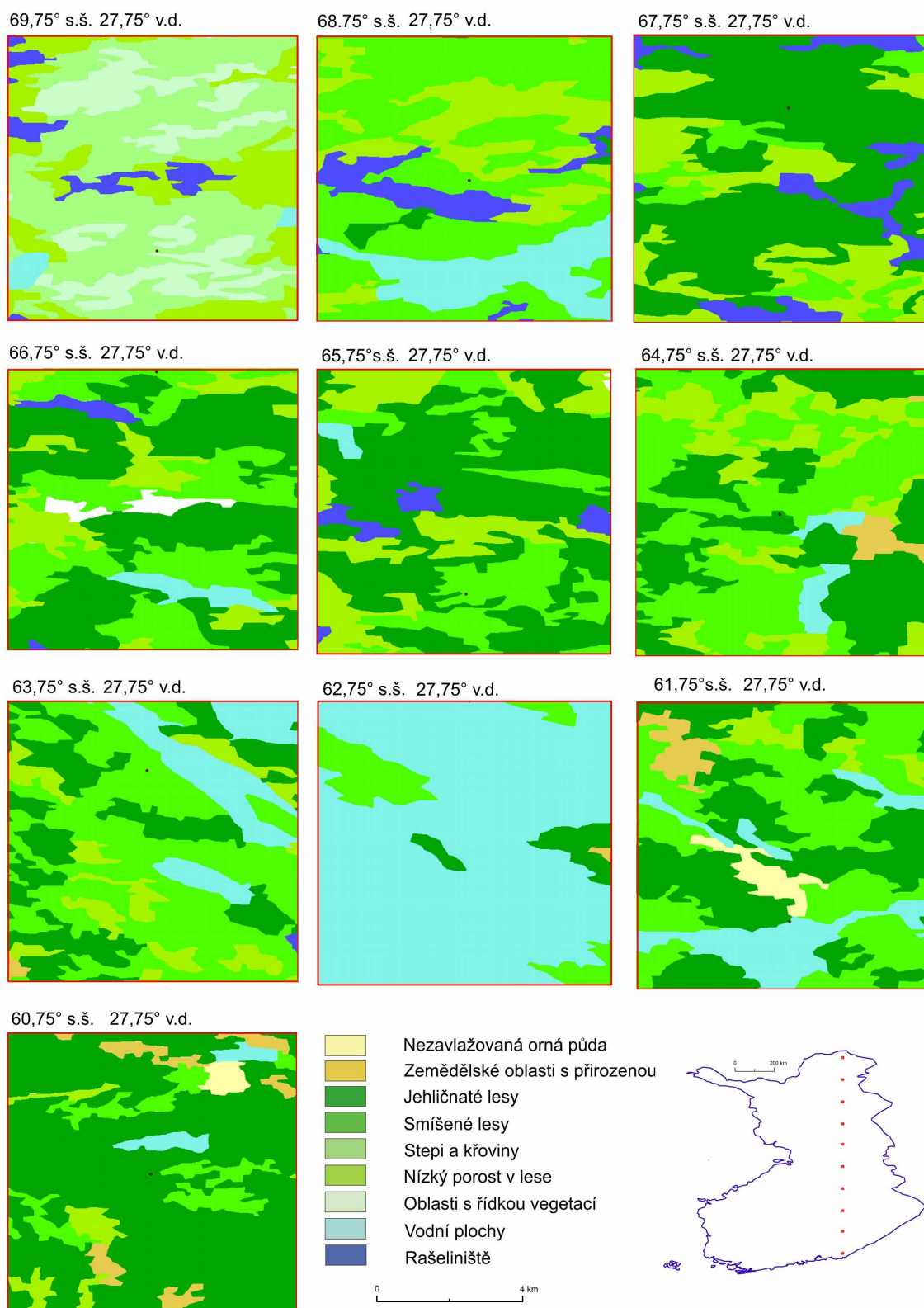


Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource

Na Obr. 15 jsou oblasti, ze kterých byl NDVI počítán. Můžeme zde vidět na využití půdy v severních oblastech především oblast s řídkou vegetací, stepi a křoviny a nízký porost v lese. Následují jehličnaté a smíšené lesy a v jižních oblastech i zemědělské oblasti. I ve využití půdy je zde vidět souvislost s teplotami a následně NDVI.

Obr. 15: Využití půdy CORINE ve Finsku v pásu od S k J po 1° v roce 2000

CORINE využití půdy Finsko 2000



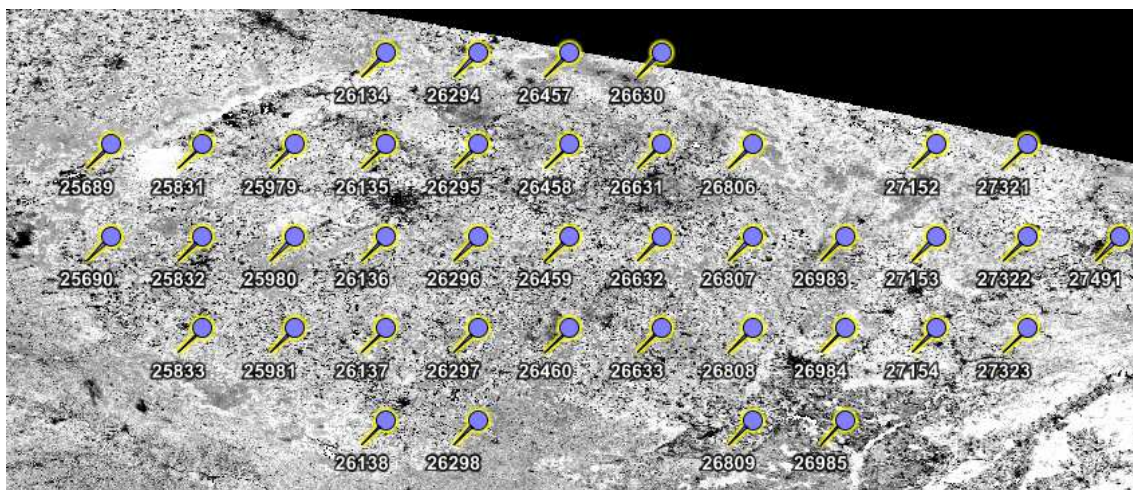
Zdroj: Autor, použita data z <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database-1/>

4.6 Výpočet hodnot NDVI z družicových snímků ENVISAT MERIS

V této kapitole nastíním především možnost výpočtu hodnot NDVI z družicových snímků. K výpočtu NDVI v roce 2009 jsem využila snímků družice Envisat a přístroje MERIS. Na Obr. 16 je vidět rastr s vypočtenými hodnotami NDVI a body, pro které jsem NDVI zjišťovala. V Příloze F je pak tabulka s vypočtenými hodnotami.

Z vypočtených hodnot NDVI je patrný vývoj vegetace v už konkrétních oblastech. Ne u všech bodů mám hodnoty NDVI za každý měsíc, ale je zde vidět jako u datové sady GIMMS rychlý vzestup hodnot NDVI na jaře a mírný pokles na podzim. Podle průměru z vypočtených hodnot jsou květen a především červen měsíce s maximální hodnotou NDVI. V červnu se hodnoty NDVI pohybovaly v průměru kolem 0,53, jsou zde však velké rozdíly způsobené již různým krajinným pokryvem na zkoumaném území. Hodnoty v dubnu a listopadu se pohybovaly kolem 0,19. Podle rozdělení území Česka, které je v kapitole 3.2.2, vyšly nejvyšší průměrné hodnoty NDVI v horských oblastech, kdy se držely hodnoty v průměru v červnu, červenci a srpnu přes 0,5. Druhé nejvyšší průměrné hodnoty NDVI měla oblast Českomoravské vrchoviny a naopak nejmenší průměrné hodnoty NDVI měla oblast nížin.

Obr. 16: Rastr hodnot NDVI s body zájmu pro Česko



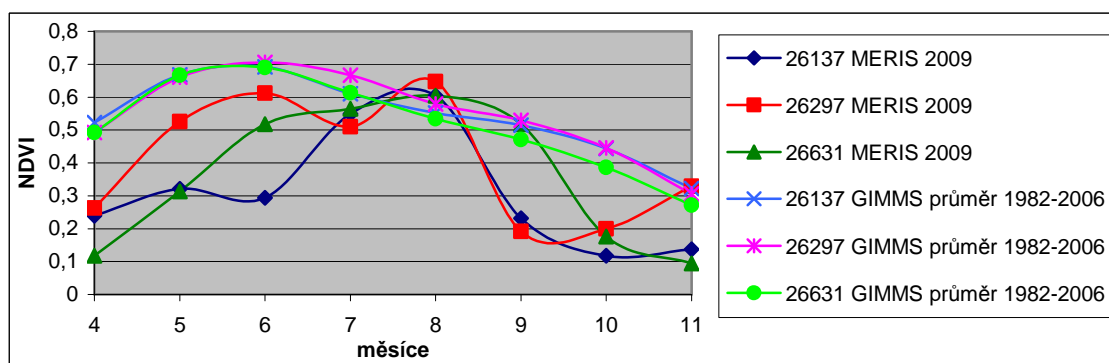
Zdroj: Autor, použity družicové snímky MERISU zpracované v programu BEAM

Nyní bych se chtěla pokusit o srovnání výsledků NDVI z různých zdrojů. Úplné srovnání hodnot NDVI z datové sady GIMMS a vypočtených z družicových snímků NDVI není možné a to kvůli více problémům. Jedním je prostorové rozlišení rastrů. U dat GIMMS má jeden pixel 8×8 km a hodnota NDVI se tudíž počítá z velké plochy, která většinou zahrnuje různé krajinné pokryvy. U družicových snímků MERISu je prostorové rozlišení výrazně menší a to 300 m, proto lze u těchto hodnot určit krajinný pokryv lépe. V procesu srovnání se musí brát v potaz odlišné parametry satelitů a jejich výstupních dat. Do výpočtu NDVI vstupují poněkud odlišná spektrální pásma. GIMMS NDVI datová sada využívá první a druhý spektrální pás odrazivosti zařízení AVHRR (NOAA). První spektrální pás odrazivosti je mezi hodnotami 0,5-0,7 μm . Druhý spektrální pás je pak v oblasti hodnot 0,7-1,1 μm (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007). U výpočtu NDVI z dat MERISu pak byla využita spektrální pásma 6 a 10.

Šesté spektrální pásmo odrazivosti má hodnoty mezi 0,615-0,625 μm a desáté 0,75-0,7575 μm (MERIS Product Handbook, 2006). Tyto rozdílné spektrální pásy hodnot, se kterými se počítá, taky způsobí mírně odlišné hodnoty. Dalším závažným problémem při zpracování dat MERISu je oblačnost. Nepovede se vždy mít alespoň jeden snímek za měsíc, aby byl bezoblačný nebo alespoň s menším procentem pokrytí oblačností. V roce 2009 jsem nenašla vhodné snímky v měsících leden, únor, březen a prosinec, to znamená především v zimních měsících. Za zmínku stojí také období, ze kterého je NDVI počítáno. U GIMMS datové sady jsem využila hodnoty z druhé poloviny měsíce. U družicových snímků MERIS je termín přesnější. Využila jsem snímky konkrétně z 2.4., 26.5., 14.6., 16.7., 20.8., 8.9., 7.10. a 20.11. 2009.

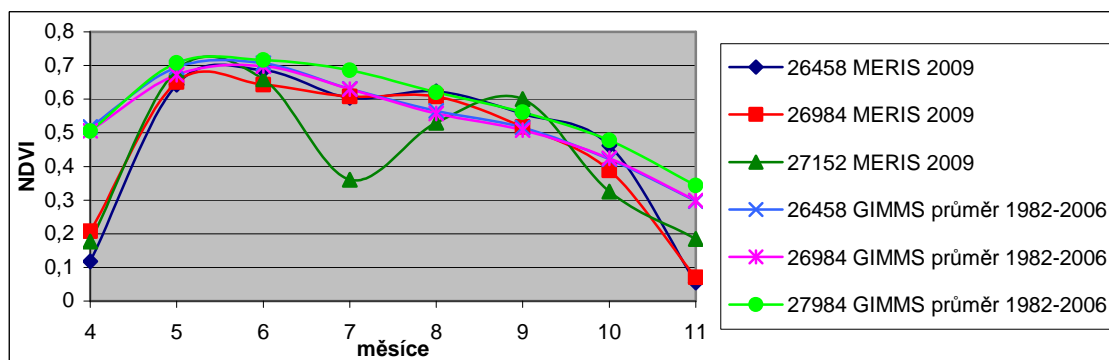
Na Grafu 27 a 28 je ukázán průběh vegetačního období ve třech bodech v lesní oblasti a ve třech v zemědělské (pole). Je zde i pro zajímavost ukázán průběh hodnot NDVI podle datové sady GIMMS. Na první pohled je patrný rozdíl v samotných hodnotách NDVI, tak i v průběhu hodnot v jednotlivých měsících. Křivka hodnot dat MERIS má mnohem výraznější průběh, hodnoty dat GIMMS se zdají více zhlazeny a odlišné jsou hodnoty ve většině sledovaných měsících. Na druhou stranu je patrné zajímavé zjištění, že zatímco u zemědělské oblasti se hodnoty a průběh křivek liší výrazně, tak u lesní oblasti přeci jen podobné hodnoty i průběh jsou. Tato problematika by si zasloužila mnohem detailnější analýzu, která by však byla nad rámec této práce.

Graf 27: Ukázka průběhu vegetačního období v zemědělských oblastech v roce 2009



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS a MERISu

Graf 28: Ukázka průběhu vegetačního období v lesních oblastech v roce 2009



Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS a MERISu

5. DISKUZE

Jak bylo zmíněno v teoretické části této práce, analýza NDVI byla úspěšně aplikována na výzkum časových i prostorových trendů a změn v distribuci, produktivitě a dynamice vegetace, dále pak na sledování ekologických dopadů klimatických katastrof jako jsou například oheň nebo sucho (PETTORELLI ... [et al.], 2005).

Jednou velkou skupinou ve využití indexu NDVI jsou studie zkoumající vztah vegetace a globálních změn klimatu. Na tuto problematiku se zaměřila i tato práce. Zaměřila jsem se především na regiony mě blízké, to znamená především oblast Česka a střední Evropy.

Celá oblast Evropy byla již zkoumána ve studii JULIEN, SOBRINO, VERHOEF, 2006 a to v oblasti změn hodnot v teplotách zemského povrchu a hodnot NDVI mezi lety 1982 a 1999. Výsledky této studie ukazují navýšení hodnot NDVI (kromě jižní Evropy) a to až do 0,1. Konkrétně v oblasti Německa, Česka, Polska a Běloruska průměrné hodnoty NDVI vzrostly o více než 0,07. V mé práci také vyšel vzestupný trend hodnot NDVI. Nevyšlo mi však tak vysoké zvýšení hodnot v oblasti střední Evropy (Německo, Česko, Polsko, Slovensko a Rakousko). Mezi roky 1982 a 2006 byl průměrný vzestup hodnoty NDVI o 0,03. Na rozdíl od mé práce však ve studii JULIEN, SOBRINO, VERHOEF, 2006 využívaly k monitorování NDVI HANTS software (Harmonic Analysis of Time Series – harmonickou analýzu časových řad), který umožňuje současné sledování průměrných hodnot, první harmonické amplitudy a fáze chování ve stejném obraze.

Další evropskou studií zajímaví se o NDVI je WANG ... [et al.], 2004, zkoumající podobnost mezi hodnotami NDVI a jejich vztah k fyziologické činnosti borovice lesní ve Finsku. Zkoumali však i korelaci mezi NDVI a denními teplotami vzduchu, jejichž korelace vyšla celkem vysoká. Např. v roce 1997 jim vyšla nižší 0,52, ale v roce 2000 již dosáhla vyšších hodnot a to 0,73. V mé práci vyšel průměrný korelační koeficient mezi lety 1982-2006 mezi průměrnými měsíčními teplotami a hodnotami NDVI 0,85. V této studii (WANG ... [et al.], 2004) ještě došli k poznatku, že teplota a NDVI vykazují podobné roční vzory. NDVI roste, když teplota vzduchu přesahuje 0 °C, a mají tendenci ke zvýšení dokud teploty nepřekročí 10 °C. To samé jsem se pokusila prokázat v kapitole 4.2.1 na území Česka. Zde mi vyšlo, že NDVI roste, když teplota přesáhne 0 °C, a zvyšuje se až do 14 °C, následně dochází k poklesu. K lepšímu poznání by se však této problematice bylo potřeba věnovat podrobněji.

V oblasti Fennoskandinávie se zkoumala variabilita začátku vegetačního období v letech 1982 a 2002. Výsledky naznačují, že zvýšení teploty o 1 °C na jaře obecně odpovídá posunu začátku vegetačního období o 5-6 dnů. Tady v této oblasti bych viděla další možnost rozšíření mé práce. Bylo by zajímavé zjistit, jestli došlo k posunu vegetačního období i v oblasti střední Evropy a Česka.

Studií na toto téma existuje mnoho, pro srovnání s mojí prací zmíním ještě studii PIAO ... [et al.], 2006, se kterou mám podobné metody k hodnocení výsledků. Tato studie ovšem zkoumala změny hodnot NDVI na zvýšení růstu travních porostů a jejich reakce na klimatické změny mezi roky 1982 a 1999 v čínské oblasti. Průměrný vzestup hodnot NDVI

činil v oblasti severní Číny 0,0014 ve střední Evropě 0,0012. Průměrný vzestup teplot vzduchu činil v oblasti severní Číny 0,0521 ve střední Evropě 0,0246. Průměrný vzestup srážek činil v oblasti severní Číny 0,7899 v Česku 0,2281. Korelace mezi NDVI a teplotami vzduchu mi vyšla nejvyšší na jaře podobně jako ve zmiňované studii. V Česku to bylo 0,86 a v severní Číně 0,66. Také korelace mezi NDVI a srážkami vyšla nejvyšší na jaře na území Česka 0,42 a v severní Číně 0,38. Zde však musím poznamenat, že ve studii PIAO ... [et al.], 2006 použily na jaro pouze měsíce duben a květen, já jsem sem přidala i březen.

Při zhodnocení této práce a možnosti ji začít zpracovávat od začátku, bych se více zaměřila na detailnější prozkoumání krajinného pokryvu u všech zkoumaných lokalit. Jelikož jeden zkoumaný pixel má rozměr 8×8 km, nachází se v této oblasti více krajinných pokryvů. Pokud bychom chtěli některé území prozkoumat detailněji, byla by zapotřebí data s menším prostorovým rozlišením. Využít by se mohla například data družice Envisat MERIS, i když je zde také hodně problémů s jejich zpracováním, především pak problémy se snímky pokrytými oblačností. Podrobněji se tomu věnuji v kapitole 4.6.

Meziroční trendy v hodnotách NDVI, teplot vzduchu i srážek mezi lety 1982-2006 byly rostoucí. V sezónních trendech v Česku byly rostoucí tendence patrné ze čtyř ročních období pouze ve třech. V letním období byly v některých oblastech tendence poklesové. Jinak ostatní období přispěly k růstu ročních průměrných hodnot NDVI. Podrobněji se o tom zmiňuji v kapitole 4.3.1. Tento trend může souviset se zvyšující se teplotou vzduchu a tedy částečně i globálním oteplováním. Záporný korelační koeficient mezi teplotou a hodnotami NDVI v letním období je zřejmě způsoben tím, že po 14°C se stoupající teplotou hodnota NDVI spíše klesá. Vliv také může mít krajinný pokryv, zejména změny na zemědělské půdě.

Pokud bych měla práci zhodnotit z hlediska vytyčených cílů, tak globální databáze teplot, srážek a hodnot NDVI byla vytvořena a je přiložena na CD. Rozbor literatury je proveden v kapitole 2. Úvod do problematiky, ale vzhledem k množství prací jsou vybrány jen některé studie zajímavější se o podobné téma. Spočítané změny hodnot NDVI pro území Česka na podkladě dat MERIS jsou v kapitole 4.6 a jsou pro rok 2009. Zhodnocení dlouhodobých změn hodnot vegetačních indexů ve střední Evropě a v části Finska v souvislosti se změnami klimatu jsem věnovala velkou pozornost a to v kapitolách 4.1 až 4.5. Zde jsem došla k závěru, že teploty mají zřejmě vliv na růst hodnoty NDVI. Existuje zde ovšem mez teplot, po které už hodnota NDVI neroste, ale dochází spíše k poklesu. Růst hodnot NDVI může znamenat především to, že vegetace je více produktivní. V některých oblastech to ovšem může být i zapříčiněno změnou vegetačního pokryvu. Zde se také nabízí úvaha, zda navýšení hodnot NDVI nemůže být způsobeno například změnou spektrometrů na družici, či zda se měnily parametry družice NOAA. NOAA-7-14 (historická data) a NOAA-16 NDVI časové řady byly pomocí radiometrické kalibrace svázány dohromady. Některé chyby nejsou sice v GIMMS opraveny, ale je to především odrazivost půdy, ovšem to se projevuje pouze při nízkých hodnotách NDVI. Již dřívější verze GIMMS-NDVI byly použity v různých modelech a zdá se, že zachytily dobře obecné vzory vegetace (PINZON, BROWN, TUCKER, 2007).

Jak teploty tak hodnoty NDVI mají velké prostorové rozlišení. Hodnoty NDVI jsou z kvalitní datové sady, která je používána ve většině studií s hodnotami NDVI. Teploty a srážky

jsou z datové sady Globálního klimatického zdroje (Global Climate Resource), jsou interpolovány do mřížky souřadnicové sítě $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ zeměpisné šířky a délky. Zde by bylo možné využít jinou datovou sadu, kde by byly přímo hodnoty z jednotlivých stanic. I data z Globálního klimatického zdroje jsou kvalitní, jsou dokonce opatřena interpolačními chybami. V metodách jsem využila základní statistické analýzy jako regresi a korelaci, které byly využity např. u studie PIAO ... [et al.], 2006. Obecně se dá říci, že hodnoty NDVI ve střední Evropě narůstají. Tento trend hodnot vyšel v této práci i ve studii JULIEN, SOBRINO, VERHOEF, 2006.

6. ZÁVĚR

V závěru této práce bych ráda shrnula dosažené výsledky a uvedla možná pokračování tohoto výzkumu. Trendy a meziroční rozdíly v hodnotách NDVI a teplotách vzduchu vyšly ve všech zkoumaných oblastech vzrůstající. Průměrné roční zvýšení hodnot NDVI ve střední Evropě mezi lety 1982-2006 vyšlo 0,0012. Nejvyšší průměrné hodnoty NDVI ve zkoumaném období vyšly v Německu naopak nejmenší v Rakousku.

V oblasti Česka byl roční průměrný vzestup hodnot NDVI 0,0014, průměrný roční vzestup teplot vzduchu o 0,0235 °C a průměrný roční vzestup srážek 0,2281mm. V nížinných oblastech Česka byl průměrný roční nárůst hodnoty NDVI o 0,0014, v horské oblasti 0,0018 a v přechodných oblastech 0,0007.

Korelace mezi NDVI a klimatickými proměnnými vyšla celkem silná. Konkrétně korelace NDVI a teplot vzduchu na území Česka v období 1982-2006 vyšla 0,85. Nižší korelační koeficient pak vyšel mezi hodnotami NDVI a srážkami na stejném území a stejném časovém období a to 0,38. Nelze říci, že ve všech případech platí, že chladnější rok se rovná roku s nižší hodnotou NDVI, ale v mnohých letech toto tvrzení platilo, a výrazněji to lze tvrdit oproti srážkám, které tak vysokou korelaci s hodnotami NDVI nemají. V trendech sezónních hodnot NDVI vyšlo zajímavé zjištění, že rostoucí tendence hodnot NDVI byly patrné ze čtyř ročních období pouze ve třech. Nejvyšší korelace mezi hodnotami NDVI a teplotami vzduchu a NDVI a srážkami je v jarním období.

Při hodnocení ročního průběhu NDVI vzhledem ke krajinnému pokryvu jsem vybrala tři lokality krajin a to lesní, zemědělskou a zemědělsko-lesní. Lesní krajina má vyšší hodnoty NDVI v zimních měsících a na rozdíl od zemědělské krajiny zde není vidět výraznější pokles hodnot NDVI v červenci a srpnu zapříčiněný především sklizní. Průběh ročních křivek hodnot NDVI a teplot vzduchu je podobný. Nárůst průměrných hodnot NDVI je v jarním období prudší než u teplot, naopak pokles hodnot je prudší na podzim u teplot vzduchu. Křivky se liší i v období, kde dosahují maximálních hodnot. U hodnot NDVI je to přelom května a června a u teplot vzduchu červenec a srpen.

V oblasti Finska jsem se zaměřila na změnu průběhu vegetačního období v oblastech od 69,75 ° s.š. po 60,75 ° s.š. Ve výsledcích je zřetelné, že v severních oblastech jsou vegetační období kratší a dosahuje se zde nižších hodnot NDVI než v jižních oblastech, kde je vegetační období trvá delší období, a tudíž je zde dosahováno i vyšších maximálních hodnot NDVI. Z výsledků je ovšem i patrné, že průběh hodnot NDVI výrazně závisí na konkrétním krajinném pokryvu ve zkoumané lokalitě.

V poslední části práce jsem se věnovala výpočtu hodnot NDVI z družicových snímků ENVISAT MERIS za rok 2009. V této oblasti vidím možnost pokračovat do budoucna. Tedy pracovat s originálními daty s menším prostorovým rozlišením a tudíž s přesnějšími výsledky. Další možností pokračování v této práci je zkoumání dalších území a to převážně oblastí severních, kde by se mohly změny hodnot NDVI a změny klimatu projevit více, díky větší citlivosti území.

Pro posouzení dlouhodobých změn hodnot vegetačního indexu NDVI byla v úvodu práce stanovena tato hypotéza: „*Během posledních desetiletí se hodnota NDVI na základě zvyšující se teploty v jednotlivých obdobích, došlo k rozšíření a časovému posunu vegetačního období rostlin a změně průběhu jednotlivých fenofází*“. Na základě výše zmíněných výsledků, kdy se ve všech zkoumaných oblastech hodnoty NDVI i teploty vzduchu zvýšily a koeficient korelace ukázal silnou závislost, lze tuto hypotézu potvrdit.

Když bych měla zhodnotit význam této práce, tak by měla být užitečná jako základní nastínění možnosti využití výzkumu vegetačního indexu NDVI a jako detailní rozbor domácí i zahraniční literatury věnované se výpočtu a interpretaci hodnot vegetačních indexů. Součástí cílů bylo i vytvoření globální databáze teplot, srážek a hodnot NDVI v období 1982-2006, se kterými lze v budoucnu dále pracovat. Tato databáze byla vytvořena z volně dostupných dat a je součástí digitální přílohy práce.

POUŽITÁ LITERATURA

Publikace, online literatura

ANYAMBA, A., TUCKER C.J. (2005): Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAAVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*. 2005, Vol. 63, Issue3, s. 596-614. K dispozici také elektronicky na WWW: <[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VJ1-4GC1R3X-2-](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VJ1-4GC1R3X-2-1&_cdi=6081&_user=1490772&_orig=search&_coverDate=09%2F30%2F2005&_sk=999799990&view=c&wchp=dGLbVlW-zSkWA&md5=daefab6b223d6b6c2edd2ccc577a1d90&ie=/sarticle.pdf)

[1&_cdi=6081&_user=1490772&_orig=search&_coverDate=09%2F30%2F2005&_sk=999799990&view=c&wchp=dGLbVlW-zSkWA&md5=daefab6b223d6b6c2edd2ccc577a1d90&ie=/sarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VJ1-4GC1R3X-2-1&_cdi=6081&_user=1490772&_orig=search&_coverDate=09%2F30%2F2005&_sk=999799990&view=c&wchp=dGLbVlW-zSkWA&md5=daefab6b223d6b6c2edd2ccc577a1d90&ie=/sarticle.pdf)>.

ASTER Spectral Library : Version 2.0 [online]. 2008 [cit. 2009-12-22]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://speclib.jpl.nasa.gov/>>.

BARBOSA, H. A., HUETE, A. R., BAETHGEN, W. E.(2006): A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*. 2006, Vol. 67, s. 288-307. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www.springerlink.com/content/w104872474110w14/fulltext.pdf>>.

DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

HANSEN, M. ... [et al.] (2000): Global land cover classification at 1km resolution using a decision tree classifier. *International Journal of Remote Sensing*. 2000, Vol. 21, s. 1331-1364. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://glcf.umiaccs.umd.edu/library/guide/ijrs21_p1331.pdf>.

HENDL, J. (2006): *Přehled statistických metod zpracování: analýza a metaanalýza dat*. 2.vyd. Praha: Portál, 2006. 583 s. ISBN 80-7367-123-9.

JULIEN, Y., SOBRINO, J. A., VERHOEF, W. (2006): Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999. *Remote Sensing of Environment*. 2006, Vol. 103, Issue 1, s. 43-55. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-4K0FG2V-1&_user=10&_coverDate=07%2F15%2F2006&_alid=1152027010&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5824&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=170&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=87a1247e3fed769f2cfd4e8c0bd43c10>.

KARLSEN, S. R. (2007): Variability of the start of the growing season in Fennoscandia, 1982–2002. *Int J Biometeorol*. 2007, Vol. 51, s. 513-524. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www.springerlink.com/content/6056qh227111467r/fulltext.pdf>>.

KOLÁŘ, J. (2008a): *Principy fungování a využívání pozorovacích satelitů*. 1. vyd. Praha. 60 s. ISBN 978-80-904163-5-2.

KOLÁŘ, J. (2008b): *Radarová obrazová data a jejich využití*. 1. vyd. Praha. 54 s. ISBN 978-80-904163-6-9.

- KOLÁŘ, J. (1989): *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd. Praha: SNTL. 170 s. ISBN 80-03-00517-5.
- KOLÁŘ, J., HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. (2000): *Dálkový průzkum Země 10*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT. 164 s. ISBN 80-01-01567-X.
- KRÁL, V. (1999): *Fyzická geografie Evropy*. 1.vyd. Praha: Academia, 1999. 348 s. ISBN 80-200-0684-2.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, W. (1994): *Remote Sensing and Image Interpretation*. 3rd ed. Wiley, New York. 750 s. ISBN 0-471-57783-9.
- LIANG, S. (2004): *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. Wiley, New York. ISBN 978-0-471-28166-5.
- MATSUURA, K., WILLMOTT, C. J. (2009a): *Terrestrial Air Temperature: 1900-2008 Gridded Monthly Time Series* [online]. 22.6. 2009, poslední revize 21.8. 2009 [cit. 2009-12-13]. K dispozici také elektronicky na WWW: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2_Ts_2009/README.global_t_ts_2009.html.
- MATSUURA, K., WILLMOTT, C. J. (2009b): *Terrestrial Precipitation: 1900-2008 Gridded Monthly Time Series* [online]. 22.6. 2009, poslední revize 21.8. 2009 [cit. 2009-12-13]. K dispozici také elektronicky na WWW: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2_Ts_2009/README.global_p_ts_2009.html.
- MERIS Product Handbook*. [s.l.]: European Space Agency, 2006. 130 s.
- PETTORELLI, N. ... [et al.] (2005): Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *TRENDS in Ecology and Evolution*. Vol. 20, No. 9, s. 503-510. K dispozici také elektronicky na WWW: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B6VJ1-4GC1R3X-2-1&_cdi=6081&_user=1490772&_orig=search&_coverDate=09%2F30%2F2005&_sk=999799990&view=c&wchp=dGLbVIW-zSkWA&md5=daefab6b223d6b6c2edd2ccc577a1d90&ie=/sarticle.pdf.
- PIAO, S. ... [et al.] (2006): NDVI-based increase in growth of temperate grasslands and its responses to climate changes in China. *Global Environmental Change*. 2006, Vol. 16, Issue 4, s. 340-348. K dispozici také elektronicky na WWW: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFW-4JVSWK5-1&_user=10&_coverDate=10%2F31%2F2006&_alid=1151721656&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=6020&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=421&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=0ad4778771667f859fc89a31ff65ada3.
- PINZON, J. E., BROWN, M. E., TUCKER, C. J. (2007): Product Guide, Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) AVHRR 8km. [cit. 2010-04-05]. K dispozici také elektronicky na WWW: http://glcf.umiacs.umd.edu/library/guide/GIMMSdocumentation_NDVIg_GLCF.pdf.
- PINZON, J. E., BROWN, M. E., TUCKER, C. J. (2005): Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. *Hilbert-Huang Transform: Introduction and applications*. 2005, s. 167-186.

PINZON, J. E. ... [et al.] (2005): An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*. 2005, Vol. 26, Issue 20, s. 4485-4498.

RangeView : Remote Sensing Applications for Range Management [online]. 2005 [cit. 2009-12-22]. Remote Sensing of Vegetation. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://rangeview.arizona.edu/tutorials/intro.asp>>.

RAYNOLDS, M. K., WALKER, D. A., MAIER, H. A. (2006): NDVI patterns and phytomass distribution in the circumpolar Arctic. *Remote Sensing of Environment*.

2006, Vol. 102, Issue 3-4, s. 271-281. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-4JS1MYN-1&_user=10&_coverDate=06%2F15%2F2006&_alid=1152025535&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5824&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=9&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=f572b6a71c9c2cf638ef2f15965ae2af>.

VICENTE-SERRANO, S. M. ... [et al.] (2006): Influence of seasonal pressure patterns on temporal variability of vegetation activity in Central Siberia. *Int. J. Climatol*. 2006, Vol. 26, s. 303-321. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/112226410/PDFSTART>>.

WANG, Q. ... [et al.] (2004): Similarities in ground- and satellite-based NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland. *Remote Sensing of Environment*. 2004, Vol. 93, Issue 1-2, s. 255-237. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6V-4D7K6T7-1&_user=10&_coverDate=10%2F30%2F2004&_alid=1151697021&_rdoc=8&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5824&_sort=r&_docanchor=&view=c&_ct=141128&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=684430a368217efffd33609bde0d2c>.

WANG, J., MENG, J. J., CAI, Y. L. (2008): Assessing vegetation dynamics impacted by climate change in the southwestern karst region of China with AVHRR NDVI and AVHRR NPP time-series. *Environ Geol*. 2008, Issue 54, s. 1185-1195. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www.springerlink.com/content/8k252x2747k4763g/fulltext.pdf>>.

WEIXIN, X., XIAODONG, L. (2007): Response of Vegetation in the Qinghai-Tibet Plateau to Global Warming. *Chinese Geographical Science*. 2007, Vol. 17, Issue 2, s. 151-159. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www.springerlink.com/content/av372u753q785g32/fulltext.pdf>>.

XIN, Z., XU, J., ZHENG, W. (2008): Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981—2006): Impacts of climate changes and human activities. *Sci China Ser D-Earth Sci*. 2008, Vol. 51, Issue 1, s. 67-78. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www.springerlink.com/content/w7057466576656l0/fulltext.pdf>>.

ZVÁRA, K. (2006): *Biostatistika*. 2.vyd. Praha: Karolinum, 2006. 213 s. ISBN 80-246-0739-5.

Datové sady

Corine land cover 2000 (CLC2000) seamless vector database. 2009. [online]. [s.l.] : The European Topic Centre on Land Use and Spatial Information, 2009 [cit. 2010-04-16]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database-1>>.

HANSEN, M. ... [et al.] (1998a): *UMD Global Land Cover Classification: 1 Kilometer* [online]. 1.0. College Park (Maryland): Department of Geography (University of Maryland), 1981-1994, [cit. 2009-12-14]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/>>.

HANSEN, M. ... [et al.] (1998b): *UMD Global Land Cover Classification: 8 Kilometer* [online]. 1.0. College Park (Maryland): Department of Geography (University of Maryland), 1981-1994, [cit. 2009-12-14]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landcover/>>.

MATSUURA, K., WILLMOTT, C. J. (2009a): *Terrestrial Air Temperature: 1900-2008 Gridded Monthly Time Series* [online]. V 2.01. Newark: Center for Climatic Research, 2009, [cit. 2009-12-13]. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/download.html#T2009>.

MATSUURA, K., WILLMOTT, C. J. (2009b): *Terrestrial Precipitation: 1900-2008 Gridded Monthly Time Series* [online]. V 2.01. Newark: Center for Climatic Research, 2009, [cit. 2009-12-13]. K dispozici také elektronicky na WWW: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/download.html#T2009>.

SSE Portal - Service Information [online]. 2005 [cit. 2010-04-28]. SOSI MERIS User Service. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://services.eoportal.org/portal/service/ShowServiceInfo.do?serviceId=94813C82&categoryId=0E80C980>>.

TUCKER, C. J., PINZON, J. E., BROWN, M. E. (2004): *Global Inventory Modeling and Mapping Studies* [online]. 2.0. College Park (Maryland): Global Land Cover Facility (University of Maryland), 2004, [cit. 2009-10-23]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>>.

Portál veřejné správy České republiky [online]. c2003-2010 [cit. 2010-04-16]. K dispozici také elektronicky na WWW: <<http://geoportal.cenia.cz/>>.

Další zdroje informací

<http://speclib.jpl.nasa.gov>

<http://rangeview.arizona.edu/Tutorials/intro.asp>

<http://www.arcticatlas.org/maps/themes/cp/cpndv>

http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2_Ts_2009/air_temp_stat_num.pdf

http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2_Ts_2009/air_temp_clim_stat.pdf

<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp?productID=6>

SEZNAM TABULKOVÝCH A GRAFICKÝCH PŘÍLOH

Tabulkové přílohy

Tab. 1	Různé NDVI datové sady	13
Tab. 2	Časové změny zařízení pro datovou sadu GIMMS	17
Tab. 3	Trendy v hodnotách NDVI v Česku podle ročních období v letech 1982-2006.....	37

Obrázkové přílohy

Obr. 1	Ukázky spektrálních křivek vegetace z ASTER Spectral Library	9
Obr. 2	Spektrální odrazivost vegetace v oblasti viditelného a IČ záření	10
Obr. 3	Stárnutí listu a jejich měření odrazivosti	10
Obr. 4	Dlouhodobé průměry hodnot NDVI v Sahelu v letech 1982-2003	15
Obr. 5	Mapa shrnující trendy změn hodnot NDVI v Sahelu v letech 1982-2003.....	15
Obr. 6	Vztah mezi NDVI a fytomasou v roce 2003 v cirkumpolární Arktidě.....	16
Obr. 7	Počet teplotních stanic vzduchu 1900 – 2008.....	19
Obr. 8	Rozmístění meteorologických stanic na Zemi	19
Obr. 9	Data AVHRR Global Land Cover Classification – Svět	20
Obr. 10	Zkoumané oblasti a fyzickogeografické celky Evropy.....	22
Obr. 11	Zjednodušené metodické schéma postupu v ArcGIS	27
Obr. 12	Vývoj využití půdy v lesní oblasti	42
Obr. 13	Vývoj využití půdy v zemědělské oblasti.....	44
Obr. 14	Vývoj využití půdy v zemědělsko-lesní oblasti.....	46
Obr. 15	Využití půdy CORINE ve Finsku v pásu od S k J po 1 ° v roce 2000	49
Obr. 16	Rastr hodnot NDVI s body zájmu pro Česko	50

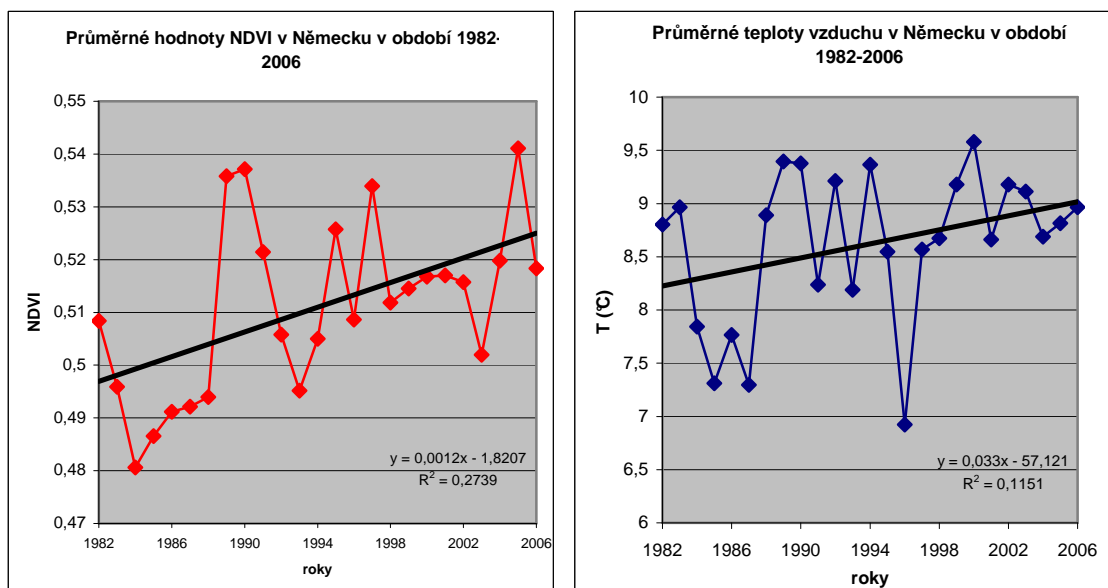
Grafické přílohy

Graf 1	Průměrné hodnoty NDVI ve střední Evropě v období 1982-2006	28
Graf 2	Průměrné teploty vzduchu ve střední Evropě v období 1982-2006.....	29
Graf 3	Průměrné hodnoty NDVI ve státech střední Evropy v období 1982-2006.....	30
Graf 4	Průměrné teploty vzduchu ve státech střední Evropy v období 1982-2006	30
Graf 5	Průměrné teploty vzduchu v Česku v období 1982-2006 a srovnání s NDVI.....	31
Graf 6	Průměrné srážky v Česku v období 1982-2006 a srovnání s NDVI.....	31
Graf 7	Průměrné hodnoty NDVI v nížinné oblasti Česka v období 1982-2006	32
Graf 8	Průměrné teploty vzduchu v nížinné oblasti Česka v období 1982-2006.....	32
Graf 9	Průměrné hodnoty NDVI v horské oblasti Česka v období 1982-2006	33
Graf 10	Průměrné teploty vzduchu v horské oblasti Česka v období 1982-2006.....	33
Graf 11	Průměrné hodnoty NDVI v přechodných oblastech Česka	

	v období 1982-2006.....	34
Graf 12	Průměrné teploty vzduchu v přechodných oblastech Česka v období 1982-2006.....	34
Graf 13	Korelace mezi teplotou vzduchu a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006.....	35
Graf 14	Korelace mezi srážkami a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006.....	35
Graf 15	Korelace mezi teplotou menší než 0 °C a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006.....	36
Graf 16	Korelace mezi teplotou mezi 0-10 °C a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006.....	36
Graf 17	Korelace mezi teplotou větší než 14 °C a hodnotami NDVI v Česku v období 1982-2006.....	37
Graf 18	Roční průběh hodnot NDVI mezi lety 1982-2006 v jednotlivých krajinných pokryvech	39
Graf 19	Roční průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech v lesní oblasti	40
Graf 20	Roční průběh teplot vzduchu v pěti časových horizontech v lesní oblasti	41
Graf 21	Roční průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech v zemědělské oblasti	43
Graf 22	Roční průběh teplot vzduchu v pěti časových horizontech v zemědělské oblasti	43
Graf 23	Roční průběh hodnot NDVI v pěti časových horizontech v zemědělsko-lesní oblasti	45
Graf 24	Roční průběh teplot vzduchu v pěti časových horizontech v zemědělsko-lesní oblasti	45
Graf 25	Rozložení hodnot NDVI během roku od 60 ° s.š. až po 70 ° s.š. ve Finsku.....	48
Graf 26	Rozložení teplot vzduchu během roku od 60 ° s.š. až po 70 ° s.š. ve Finsku.....	48
Graf 27	Ukázka průběhu vegetačního období v zemědělských oblastech	51
Graf 28	Ukázka průběhu vegetačního období v lesních oblastech	51

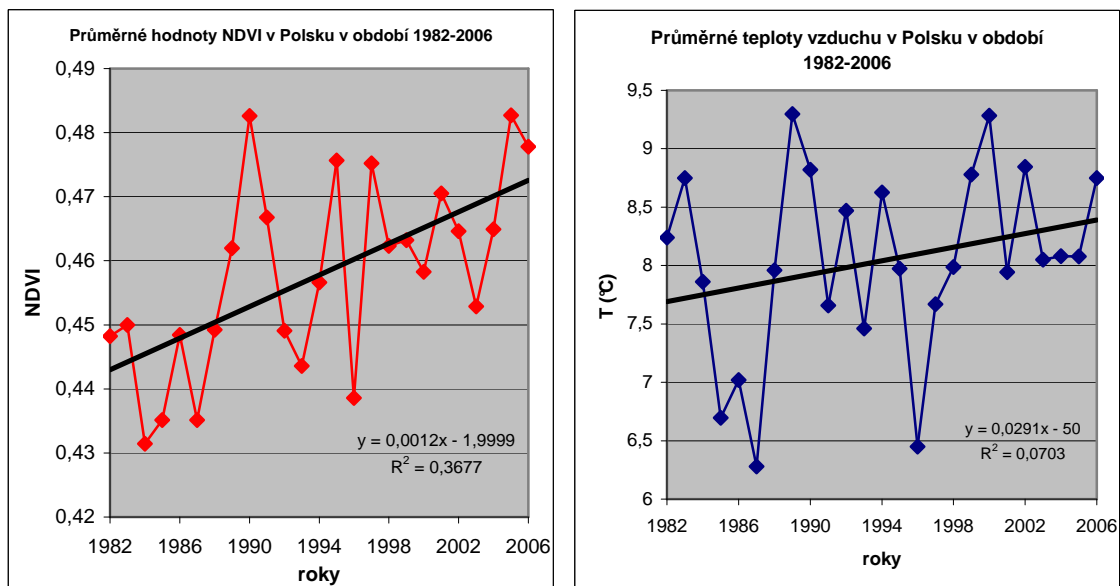
PŘÍLOHY

Příloha A: Grafy vývoje průměrných teplot a hodnot NDVI v Německu mezi lety 1982-2006



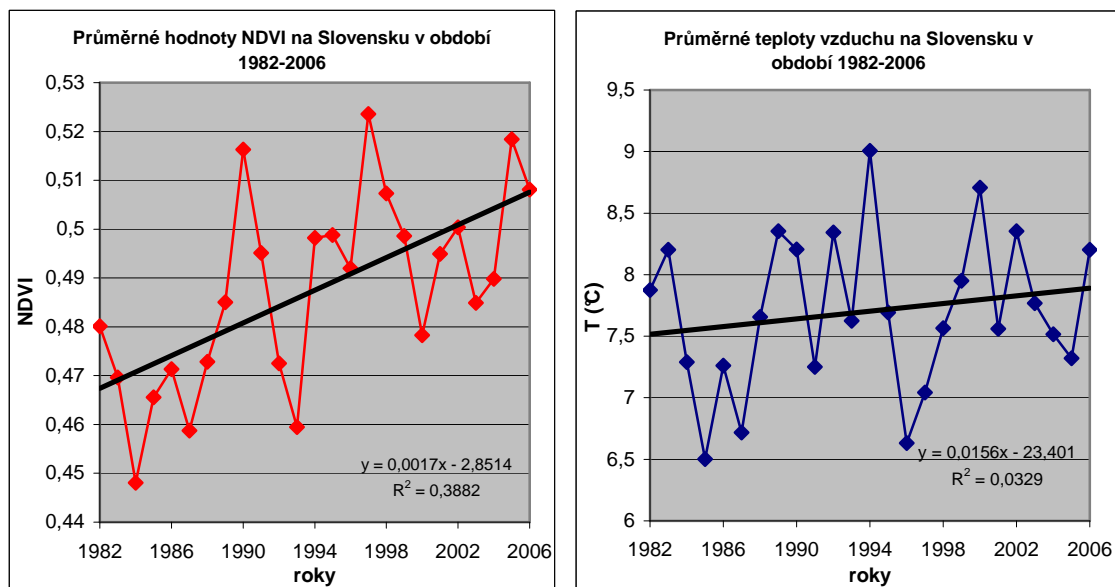
Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Příloha B: Grafy vývoje průměrných teplot a hodnot NDVI v Polsku mezi lety 1982-2006



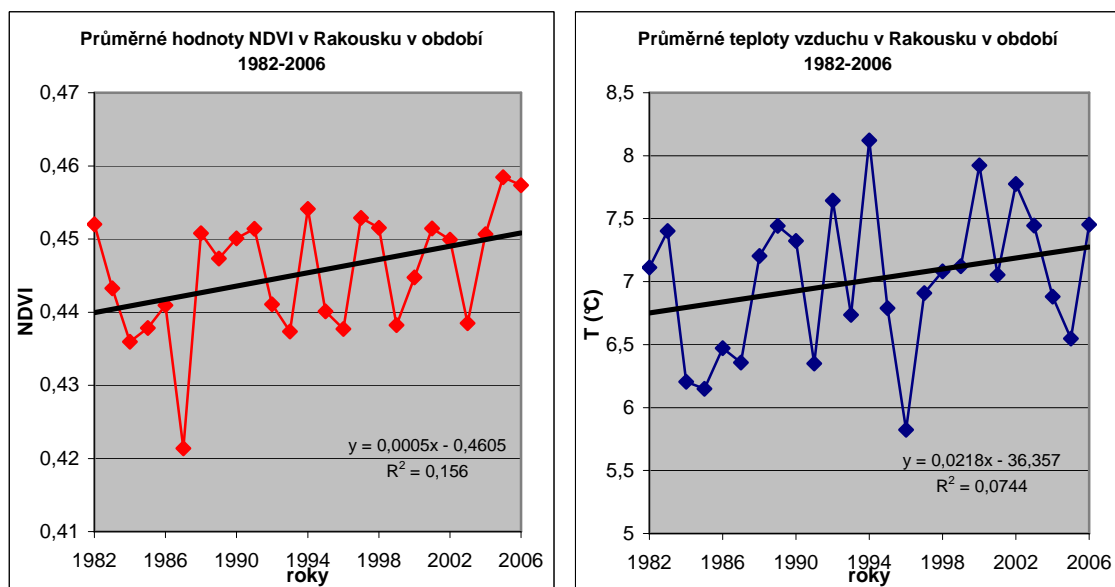
Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Příloha C: Grafy vývoje průměrných teplot a hodnot NDVI na Slovensku mezi lety 1982-2006



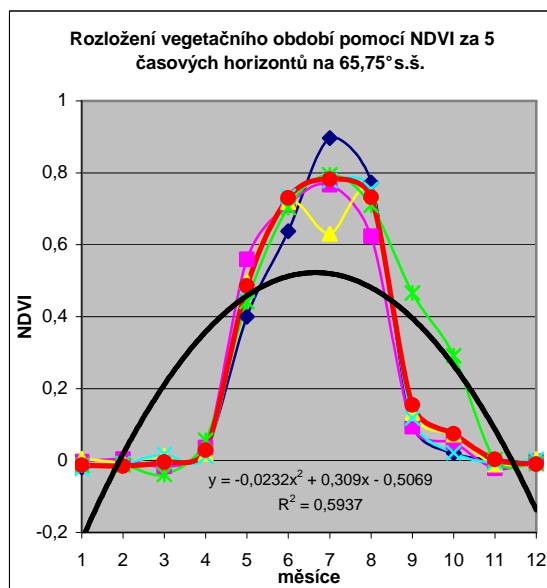
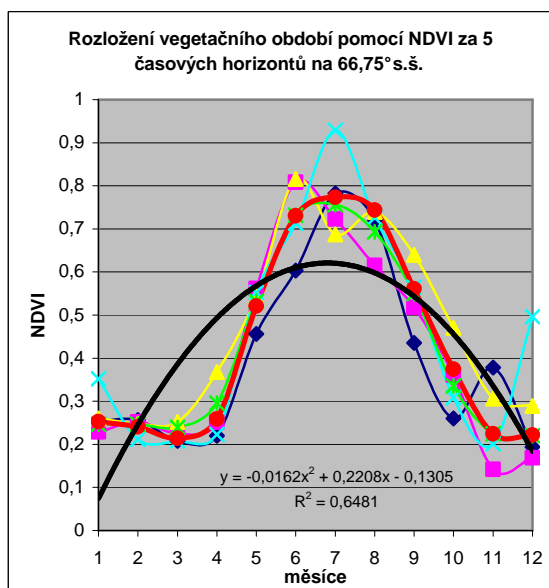
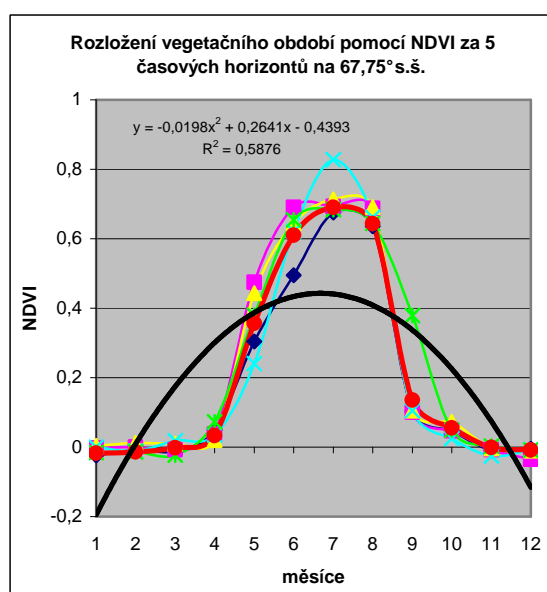
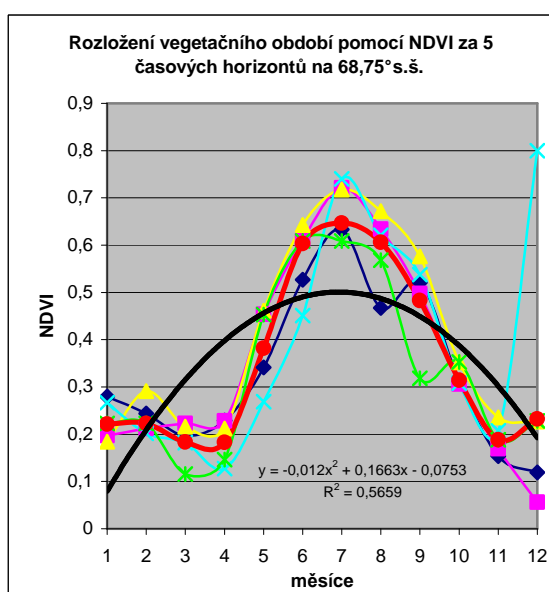
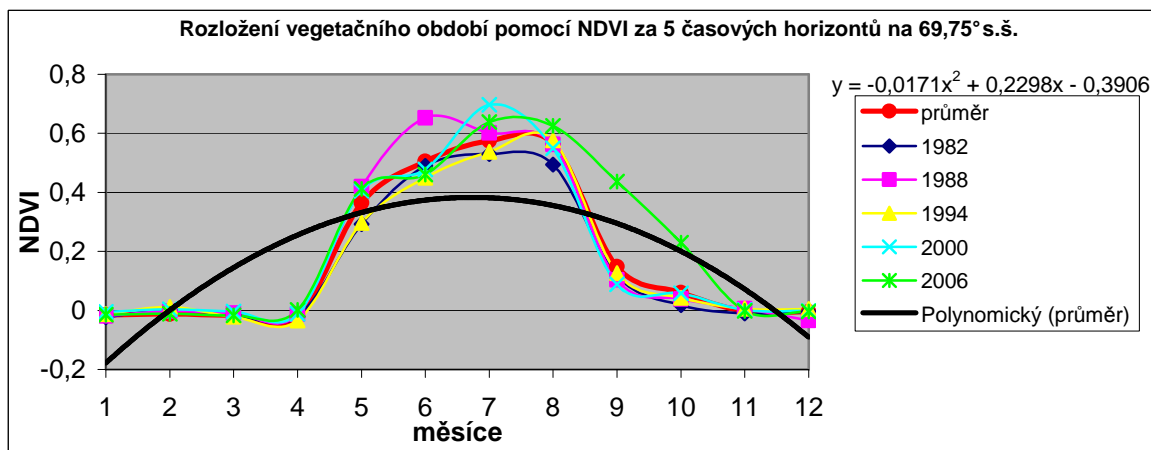
Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

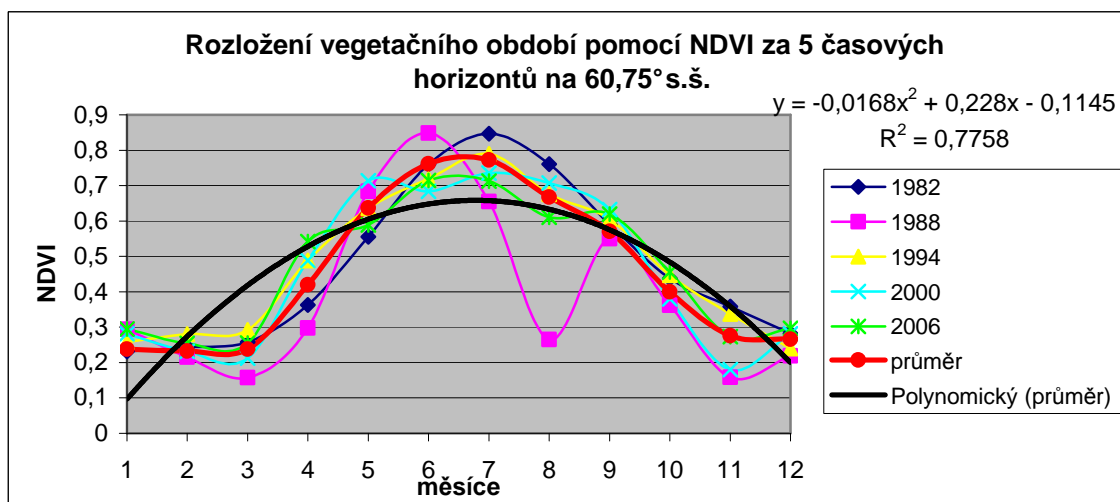
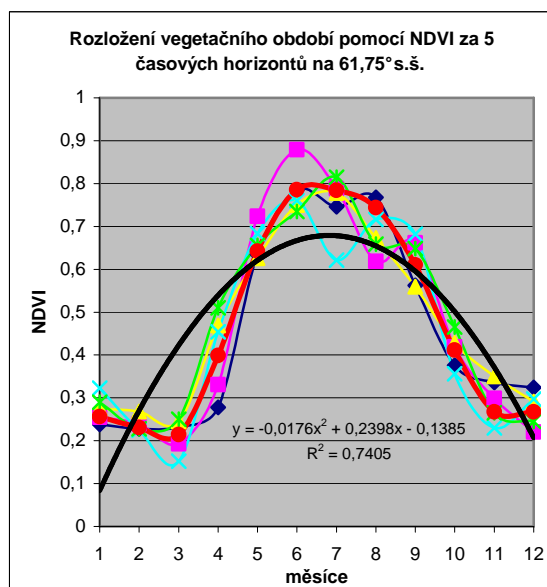
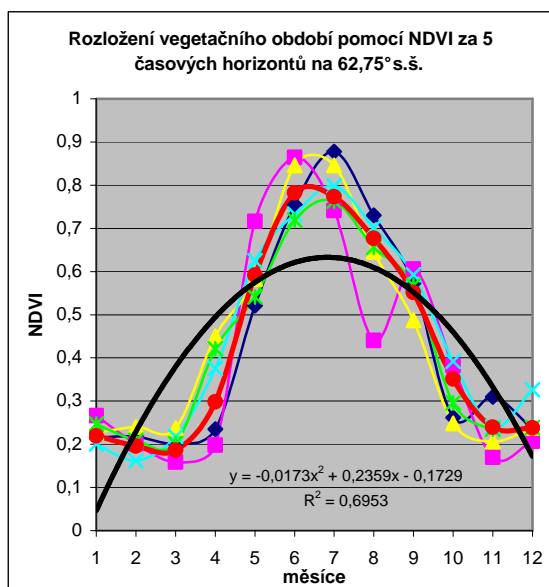
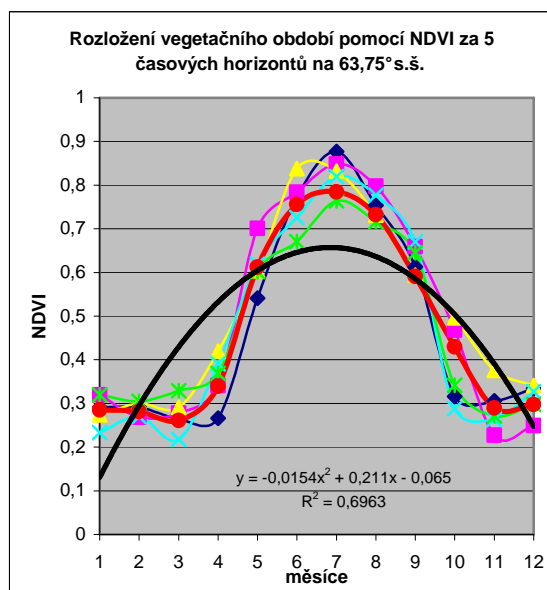
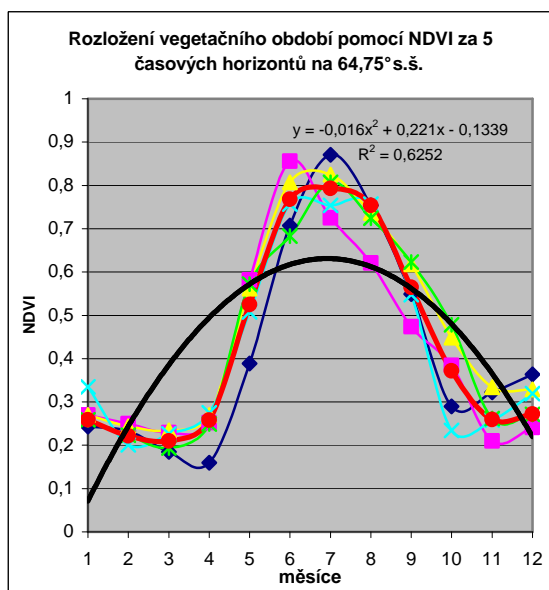
Příloha D: Grafy vývoje průměrných teplot a hodnot NDVI v Rakousku mezi lety 1982-2006



Zdroj: Autor, vypočteno z dat Global Climate Resource a GIMMS

Příloha E: Rozložení vegetačního období pomocí NDVI za 5 časových horizontů od 69,75° s.š. po 60,75° s.š.





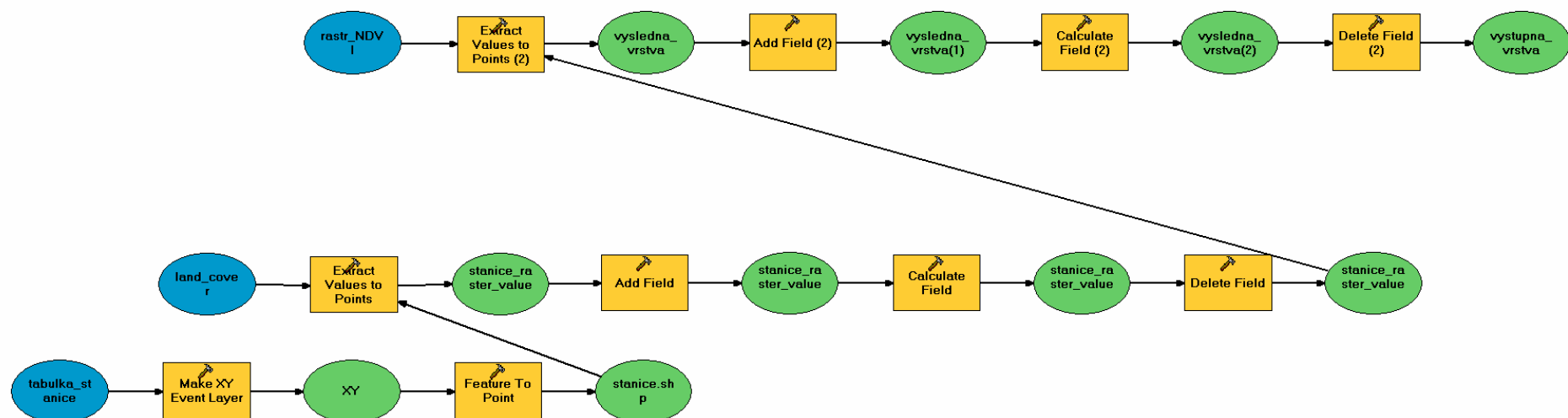
Zdroj: Autor, vypočteno z dat GIMMS

Příloha F: Tabulka hodnot NDVI spočítaných z družicových snímků Envisat MERIS v období duben – listopad 2009

Name	Lon	Lat	ndvi_duben	ndvi_květen	ndvi_červen	ndvi_červenec	ndvi_srpen	ndvi_září	ndvi_říjen	ndvi_listopad
25689	12,75	50,25	0,22745098	oblačnost	0,40392157	0,34901962	0,52156866	0,3529412	oblačnost	0,02745098
25690	12,75	49,75	0,14509805	0,30980393	0,5019608	0,14117648	0,2901961	0,35686275	0,22352941	0,03137255
25831	13,25	50,25	0,11764706	0,5647059	0,6627451	oblačnost	0,13725491	0,20784314	0,36078432	0,12156863
25832	13,25	49,75	0,0627451	0,40392157	0,22352941	0,4392157	0,38431373	0,15294118	oblačnost	0,09019608
25833	13,25	49,25	0,3254902	0,32941177	0,5254902	oblačnost	0,5176471	0,48235294	0,13725491	0,18039216
25979	13,75	50,25	0,14117648	0,5137255	0,5568628	oblačnost	0,40392157	0,32941177	oblačnost	0,003921569
25980	13,75	49,75	0,37254903	0,3882353	0,49411765	0,49803922	0,5294118	0,46666667	oblačnost	0,23921569
25981	13,75	49,25	0,21960784	0,5019608	0,44313726	0,3529412	0,36078432	0,2784314	0,3254902	0,16470589
26134	14,25	50,75	0,17254902	0,64705884	0,68235296	0,3137255	0,627451	0,6156863	0,48235294	0,06666667
26135	14,25	50,25	0,047058824	0,5411765	0,6392157	oblačnost	oblačnost	oblačnost	0,047058824	0,03529412
26136	14,25	49,75	0,21568628	0,5019608	0,5803922	0,15294118	0,5058824	0,4745098	0,07450981	0,16470589
26137	14,25	49,25	0,23921569	0,32156864	0,29411766	0,54901963	0,6039216	0,23137255	0,11764706	0,13725491
26138	14,25	48,75	0,15686275	0,67058825	0,68235296	0,61960787	0,4	0,61960787	0,5568628	0,1882353
26294	14,75	50,75	0,21176471	0,5294118	0,627451	0,50980395	0,57254905	0,53333336	oblačnost	0,13725491
26295	14,75	50,25	0,14901961	0,44313726	0,53333336	0,1882353	oblačnost	0,3764706	0,3372549	0,07450981
26296	14,75	49,75	0,25882354	0,58431375	0,56078434	0,44313726	0,5686275	0,5058824	0,30980393	0,0627451
26297	14,75	49,25	0,2627451	0,5254902	0,6117647	0,50980395	0,64705884	0,19215687	0,2	0,32941177
26298	14,75	48,75	0,17254902	0,24313726	0,1882353	0,43137255	0,6431373	0,58431375	0,36862746	0,21960784
26457	15,25	50,75	oblačnost	0,53333336	0,5803922	0,5764706	0,49019608	0,4509804	oblačnost	No-data
26458	15,25	50,25	0,11764706	0,6431373	0,6862745	0,6039216	0,62352943	0,5568628	0,4627451	0,05490196
26459	15,25	49,75	0,19607843	0,50980395	0,23921569	0,67058825	0,6627451	0,6784314	oblačnost	0,16470589
26460	15,25	49,25	0,1882353	0,6156863	0,6666667	oblačnost	0,15686275	0,17254902	0,16862746	0,15686275
26630	15,75	50,75	oblačnost	0,5137255	0,5686275	oblačnost	0,5254902	0,34509805	oblačnost	No-data
26631	15,75	50,25	0,11764706	0,3137255	0,5176471	0,5647059	0,6039216	0,5176471	0,1764706	0,09411765
26632	15,75	49,75	0,2784314	0,49411765	0,5764706	0,36862746	0,50980395	0,32941177	0,18039216	0,23529412
26633	15,75	49,25	0,2627451	0,5019608	0,50980395	0,41568628	0,5058824	0,53333336	0,47058824	0,2784314
26806	16,25	50,25	0,21176471	0,5686275	0,42745098	0,32941177	0,45882353	0,39607844	oblačnost	0,08627451
26807	16,25	49,75	0,101960786	0,5803922	0,6039216	0,54901963	0,42745098	0,3764706	oblačnost	0,11372549
26808	16,25	49,25	0,25490198	0,3372549	0,5254902	0,57254905	0,4745098	0,54509807	0,23529412	0,16470589
26809	16,25	48,75	0,003921569	0,43529412	0,47843137	0,35686275	0,34509805	0,20784314	0,16078432	oblačnost
26983	16,75	49,75	0,28235295	0,627451	0,53333336	0,23529412	0,23137255	0,28235295	oblačnost	0,36862746
26984	16,75	49,25	0,20784314	0,6509804	0,6431373	0,60784316	0,60784316	0,5176471	0,3882353	0,07058824
26985	16,75	48,75	oblačnost	0,45882353	0,5372549	0,39607844	0,21960784	0,15686275	0,2509804	oblačnost
27152	17,25	50,25	0,1764706	0,6862745	0,65882355	0,36078432	0,5294118	0,6	0,3254902	0,18431373
27153	17,25	49,75	0,29803923	0,6039216	0,6313726	0,36078432	0,43529412	0,41568628	0,21568628	0,02745098
27154	17,25	49,25	0,18039216	0,59607846	0,42745098	0,45490196	0,21960784	0,16862746	oblačnost	0
27321	17,75	50,25	0,09803922	0,46666667	0,53333336	oblačnost	0,25882354	0,3647059	0,33333334	No-data
27322	17,75	49,75	0,22352941	0,6627451	0,6117647	0,38039216	0,6117647	0,5568628	0,32156864	0,14901961
27323	17,75	49,25	0,3019608	0,46666667	0,48235294	0,45882353	0,37254903	0,38039216	0,29803923	0,3254902
27491	18,25	49,75	0,13333334	0,34901962	0,4392157	oblačnost	0,31764707	0,29411766	0,14901961	0,14901961

Zdroj: Autor, použity družicové snímky MERISU a vypočteno v programu BEAM

Příloha G: Schéma metodického postupu při vytváření databáze hodnot NDVI



Zdroj: Autor, vytvořeno v programu ArcGIS v prostředí Model Builder

Příloha H: Příložené CD

- pdf verze
- shapefiley globální databáze teplot, srážek a hodnot NDVI v období 1982-2006
- MS Excel globální databáze teplot, srážek a hodnot NDVI v období 1982-2006